



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Titulació:

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Alumno:

Iván Ruperez Barrero

Enunciado TFG:

Estudio de sensores textiles para su aplicación en el desarrollo de galgas extensométricas.

Director del TFG:

Raúl Fernández García

Convocatoria de entrega del TFG:

10 de Junio de 2019

Abstract

The end of grade work is developed according to the grade chosen. Mainly the objective is to see if textile sensors can be useful for the development of strain gauges. For this also a possible application is realized, that consists of obtaining the degrees of inclination of the knee from a knee brace with the integrated sensor by means of embroidery.

To carry out the study, there are two prototypes, each of which has its own design. From each prototype, three types of embroidery are made in each one, that is, 6 different models are obtained.

Once the most suitable sensor for the study has been chosen, three samples of the same model are made, to make a series of measurements and verify if the behavior is repetitive. When you see that it is repetitive, the corresponding calculations are performed to obtain the relation between the variation of the resistance (ΔR) and the elongation of the unit (ϵ).

From here, a fourth sample is used to perform the measurements necessary to obtain the relationship between the variation of the resistance (ΔR) and the angle of inclination of the knee (θ).

Resumen

El trabajo de final de grado se desarrolla en consecuencia al título escogido. Principalmente el objetivo es ver si los sensores textiles pueden ser útiles para el desarrollo de galgas extensométricas. Para ello también se realiza una posible aplicación, que consiste en obtener los grados de inclinación de la rodilla a partir de una rodillera con el sensor integrado mediante bordado.

Para llevar a cabo el estudio se tienen dos prototipos, el cual cada uno tiene su propio diseño. A partir de cada prototipo, se realizan tres tipos de bordado en cada uno, es decir, se obtienen 6 modelos diferentes.

Una vez escogido el sensor más idóneo para el estudio, se realizan tres muestras del mismo modelo para realizar una serie de medidas y comprobar si el comportamiento es repetitivo. Al ver que sí es repetitivo, se realizan los cálculos correspondientes para obtener la relación entre la variación de la resistencia (ΔR) y el alargamiento unitario (ϵ).

A partir de aquí, se utiliza una cuarta muestra para realizar las medidas necesarias para obtener la relación entre la variación de la resistencia (ΔR) y el ángulo de inclinación de la rodilla ($^\circ$).

Finalmente se obtienen los resultados y sus respectivas conclusiones.

Agradecimientos

Una vez realizado el TFG, después de un periodo aproximado de cuatro meses, quiero agradecer a diferentes personas la ayuda y el apoyo que me han proporcionado:

A mi familia por el apoyo continuo mostrado día tras día. Por esos impulsos y ánimos que me han permitido poder llegar hasta el final.

A Raúl Fernández García por haber sido mi guía y porque sin su ayuda no habría sido posible la realización de este trabajo.

Y por último a Marc Martínez Estrada por su colaboración y ayuda en prácticamente todo el trabajo y por sus consejos y apoyo a lo largo de todo el periodo pasado juntos en el laboratorio.

Índice

| | |
|--|----|
| Lista de figuras..... | 2 |
| Lista de tablas..... | 3 |
| 1 Objeto | 4 |
| 2 Alcance | 4 |
| 3 Requerimientos..... | 4 |
| 4 Justificación | 5 |
| 5 Estado del arte..... | 5 |
| 6 Diseño del sensor textil | 11 |
| 6.1 Materiales..... | 11 |
| 6.2 Diseños | 12 |
| 6.2.1 Primer prototipo..... | 12 |
| 6.2.2 Segundo prototipo..... | 15 |
| 6.3 Elección del prototipo | 18 |
| 7 Metodología | 19 |
| 7.1 Proceso de diseño..... | 19 |
| 7.2 Proceso de configuración del bordado..... | 21 |
| 7.3 Proceso de bordado | 27 |
| 7.4 Proceso de toma de medidas | 30 |
| 8 Resultados del estudio..... | 33 |
| 8.1 Resultados antes del lavado..... | 36 |
| 8.2 Resultados después del lavado | 37 |
| 8.3 Comparación | 38 |
| 8.4 Relación resistencia con ángulo de inclinación | 40 |
| 9 Presupuesto..... | 44 |
| 11 Conclusiones | 45 |
| 12 Planificación del trabajo futuro propuesto..... | 47 |
| 13 Referencias bibliográficas | 48 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Guante de reconocimiento de gestos [1]. | 6 |
| Figura 2. Dispositivo de monitorización del ángulo de flexión [2]. | 6 |
| Figura 3. Sensor de presión textil [3]. | 7 |
| Figura 4. a) Sistema de detección del NFCAS. b) Circuito de detección del NFCAS [4]. | 8 |
| Figura 5. Colocación en el codo del NFCAS [4]. | 8 |
| Figura 6. Distribución de las galgas extensométricas [5]. | 9 |
| Figura 7. Integración de las galgas extensométricas en la zapatilla y leds indicadores de pisada [5]. | 10 |
| Figura 8. Instalación para estudio de la flexión de una viga con estructura metálica [6]. | 10 |
| Figura 9: Diseño del primer prototipo. | 12 |
| Figura 10. Modelo 1 del primer prototipo en software y bordado. | 13 |
| Figura 11. Modelo 2 del primer prototipo en software y bordado. | 14 |
| Figura 12. Modelo 3 del primer prototipo en software y bordado. | 14 |
| Figura 13. Diseño del segundo prototipo. | 15 |
| Figura 14. Modelo 4 del segundo prototipo. | 16 |
| Figura 15. Modelo 5 del segundo prototipo. | 17 |
| Figura 16. Modelo 6 del segundo prototipo. | 18 |
| Figura 17. Barra de tareas Draftsight. | 20 |
| Figura 18. Ventana de Draftsight para guardar en formato pdf. | 21 |
| Figura 19. Entrada al modo gráfico. | 22 |
| Figura 20. Importar imagen BMP. | 22 |
| Figura 21. Imagen BMP en Digitizer EX. | 23 |
| Figura 22. Botón de convertir la imagen BMP a bordado. | 23 |
| Figura 23. Diseño antes y después de configurar el bordado. | 24 |
| Figura 24. Configuración del modelo utilizado para el estudio. | 25 |
| Figura 25. Diseño después de configurar el bordado. | 26 |
| Figura 26. Guardar archivo en formato .XXX. | 26 |
| Figura 27. Soporte con el tejido colocado en la máquina de coser. | 28 |
| Figura 28. Archivo .XXX abierto en Futura XL-550. | 28 |
| Figura 29. Botón de transmitir a la máquina de coser. | 29 |
| Figura 30. Ventana para enviar diseño a la máquina de coser. | 29 |
| Figura 31. Panel físico de la máquina de coser. | 30 |
| Figura 32. Proceso de medidas de alargamiento. | 31 |
| Figura 33. Software online Ruler. | 32 |
| Figura 34. Proceso de medidas del ángulo de inclinación de la rodilla. | 32 |
| Figura 35. Muestras utilizadas para las medidas. | 34 |
| Figura 36. Muestra utilizada para las medidas del ángulo de inclinación de la rodilla. | 35 |
| Figura 37. Comportamiento de las tres muestras y su desviación estándar antes de lavar. | 36 |
| Figura 38. Comportamiento de las tres muestras y su desviación estándar después de lavar. | 37 |
| Figura 39. Comportamiento de las tres muestras en los tres ciclos antes y después de lavar. | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 40. Comparación del comportamiento y de la desviación estándar antes y después de lavar. | 39 |
| Figura 41. Ejemplos del método de medida del ángulo de inclinación de la rodilla..... | 41 |
| Figura 42. Gráfica de la relación entre ángulo de inclinación y ΔR | 41 |
| Figura 43. Gráfica de la relación entre ángulo de inclinación y R. | 42 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Medidas de los modelos utilizados. | 33 |
| Tabla 2. Presupuesto de personal..... | 44 |
| Tabla 3. Presupuesto de material, laboratorio, desplazamientos y maquinaria. | 44 |

1 Objeto

Realizar el estudio de un sensor textil resistivo integrado en una rodillera para el desarrollo de galgas extensométricas y de una posible aplicación para poder determinar los grados de inclinación de la rodilla.

2 Alcance

- Realizar estudio de sensores y aplicaciones relacionados (estado del arte).
- Decidir el diseño y cómo desarrollarlo.
- Coser los modelos en diferentes tipos de bordado.
- Comprobar la elasticidad de cada sensor y su variación de resistencia.
- Comprobar la sensibilidad de cada sensor.
- Decidir el diseño y el tipo de bordado adecuado.
- Realizar el bordado de tres muestras del sensor en la rodillera.
- Realizar las medidas oportunas para obtener la relación entre el alargamiento y variación de la resistencia.
- Bordado del sensor en una rodillera nueva.
- Realizar las medidas de ángulo de inclinación de la rodilla respecto a la resistencia.
- Estudio exhaustivo para establecer la relación entre los grados de inclinación de la rodilla y la variación de la resistencia.
- Obtener las gráficas del comportamiento de los sensores.
- Obtener las gráficas de relación entre las diferentes magnitudes.
- Informe detallado de todos los datos obtenidos con las respectivas gráficas i pruebas.
- Conclusiones finales sobre los resultados obtenidos.
- Cumplimiento con el objetivo establecido inicialmente o no.

3 Requerimientos

Para llevar a cabo el estudio se necesitará lo siguiente: instrumentación de medida, instrumentación de diseño, instrumentación textil para realizar el bordado de los sensores, software de diseño, software para instrumentación textil, hilo conductor, hilo elástico, hilo convencional de algodón, tela y rodillera.

4 Justificación

En el proceso de estudio de diferentes artículos y estudios, se obtiene una gran información relacionada con los diferentes sensores incorporados mediante bordado en textil. Este primer recaudo de información permite tener una visión más clara respecto al desarrollo de nuestro estudio. A partir de toda esa información, se obtiene una perspectiva de cómo debería ser el diseño y de cómo integrarlo en textil. Se debe saber cómo funciona el sensor a utilizar y su posible comportamiento.

Para definir la utilidad de nuestro estudio, como bien dice el título, su principal función será poder facilitar el desarrollo de galgas extensométricas. Esto podrá ser efectivo si el estudio a realizar es satisfactorio. Hay que decir, que para poder demostrar su posible aplicación en el desarrollo de galgas extensométricas, se ha realizado un estudio a partir de otra posible aplicación. Dicha aplicación consiste en incorporar el sensor en una rodillera mediante bordado, lo que permite colocar la rodillera de forma cómoda en la pierna y poder establecer el ángulo de inclinación de la rodilla a partir del sensor, que nos dará el valor de resistencia. Al tener el valor de resistencia y haber realizado su estudio respectivo, se obtendrá el valor del ángulo de inclinación mediante la relación establecida por las medidas efectuadas y su gráfica correspondiente.

Por lo tanto, este estudio nos permitirá facilitar el desarrollo de galgas extensométricas y también podrá ser útil para ver la evolución en diferentes procesos de rehabilitación de una lesión de rodilla. Esta aplicación puede ser efectiva en otro tipo de articulaciones del cuerpo, como podría ser el codo, pero teniendo en cuenta que el sensor tendría que ser integrado en una codera.

5 Estado del arte

Para llevar a cabo el estudio, es necesario realizar un estudio del estado del arte para obtener información sobre nuestro tema o temas relacionados, ya sea directa o indirectamente, por tal de poder ayudarnos en el desarrollo del estudio a realizar. Para ello nos vamos a centrar en diferentes artículos relacionados con nuestro tema. Esto conlleva a poder tener diferentes ideas en relación a nuestro sensor y poder hacer un diseño más completo y eficiente.

Hay que tener claro que se deben tener en cuenta muchos factores a la hora de realizar el diseño, pero no hay que olvidarse, de que se debe determinar la forma idónea o necesaria de integración del sensor en el tejido.

En el artículo [1] se implementó un guante de reconocimiento de gestos. El objetivo de los autores era proporcionar una comunicación mediante voz artificial a las personas con problemas de habla. Para ello, el guante incorpora en cada dedo dos sensores, que son tiras de velostat (material piezorresistivo) recubiertas con adhesivo conductor. En la siguiente figura se puede ver el guante con los sensores y su respectiva conexión.

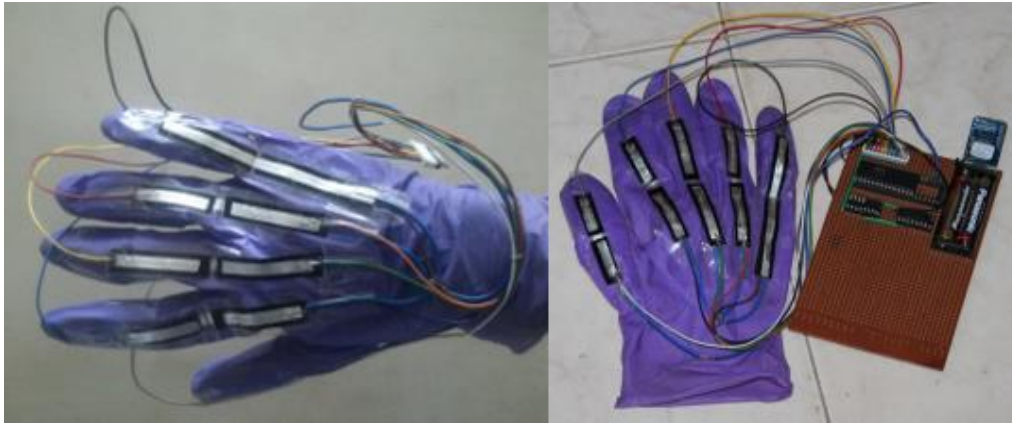


Figura 1. Guante de reconocimiento de gestos [1].

Los sensores permiten determinar los grados de flexión de los dedos y así poder determinar el gesto de la mano. Una vez se obtienen los datos extraídos de los sensores, éstos se codifican y se envían de forma inalámbrica, concretamente vía bluetooth, a un dispositivo móvil. En el dispositivo móvil se encuentra el software necesario, el cual permite obtener la forma y la orientación de la mano mediante los datos recibidos. Posteriormente, un sintetizador de voz adaptado expresa las palabras realizadas gestualmente.

En el siguiente artículo [2] se diseñó un dispositivo para controlar el ángulo de flexión de codo y rodilla. Dicho dispositivo básicamente consiste en un sensor que es una malla elástica conductora que está sujeta en cada lado por tela estable.

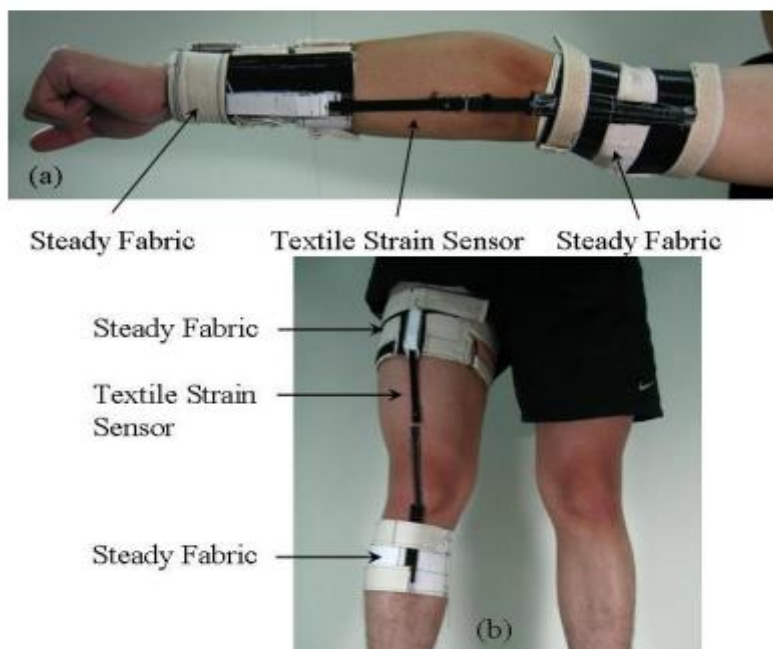


Figura 2. Dispositivo de monitorización del ángulo de flexión [2].

Para un correcto funcionamiento la malla elástica tiene que estar en una posición totalmente estirada y tensa. Por lo tanto un lado del sensor, que es la malla estable de sujeción, se coloca en la parte superior del codo o rodilla y la otra parte en la inferior. Cuanto mayor sea la distancia entre las sujeciones del sensor, mayor será el tensado de la malla elástica conductora.

La malla elástica conductora cambia de valor resistivo en función de la tensión aplicada y a partir de ese valor resistivo se establece una relación con el ángulo de flexión. A partir de la relación establecida, se puede obtener el ángulo de flexión de rodilla o codo en función del valor resistivo obtenido por el sensor.

En el artículo [3] se diseñó un sensor de presión textil, el cual se integra en tela regular. El prototipo diseñado, concretamente se introduce en un jersey de punto. El sensor consta de dos capas de velostat recubiertas por placas conductoras tejidas con hilo conductor. El sensor se integra en la tela mediante el uso de la técnica de tejido intarsia. El velostat al ser un material piezorresistivo, cambia su valor resistivo al cambiar la presión ejercida sobre él. Cuanto mayor sea la presión ejercida sobre el velostat, menor será el valor resistivo. Por lo tanto, permite obtener una relación entre la presión ejercida y el valor resistivo. A partir de esa relación anterior, el sensor permite obtener a partir de los resultados del valor resistivo los valores de presión.

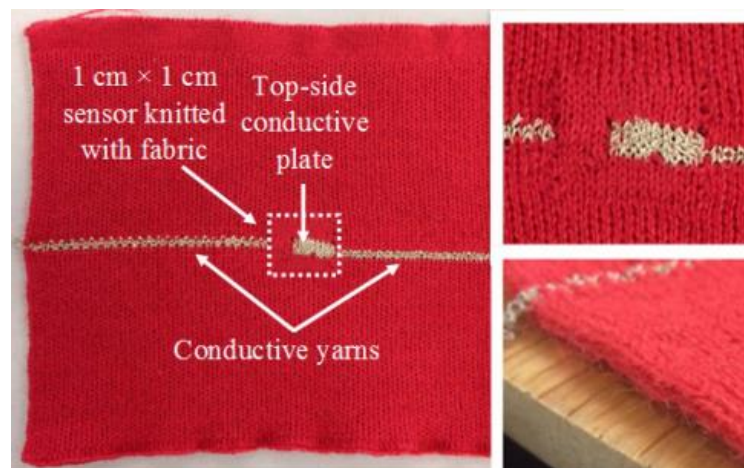


Figura 3. Sensor de presión textil [3].

En el artículo [4] se diseñó un nuevo sensor de ángulos capacitivo flexible (NFCAS) basado en un material textil conductor. El objetivo principal de los autores es detectar el movimiento de las extremidades humanas. El NFCAS está formado por dos placas, una se encarga de la excitación de electrodos y la otra de la detección de electrodos.

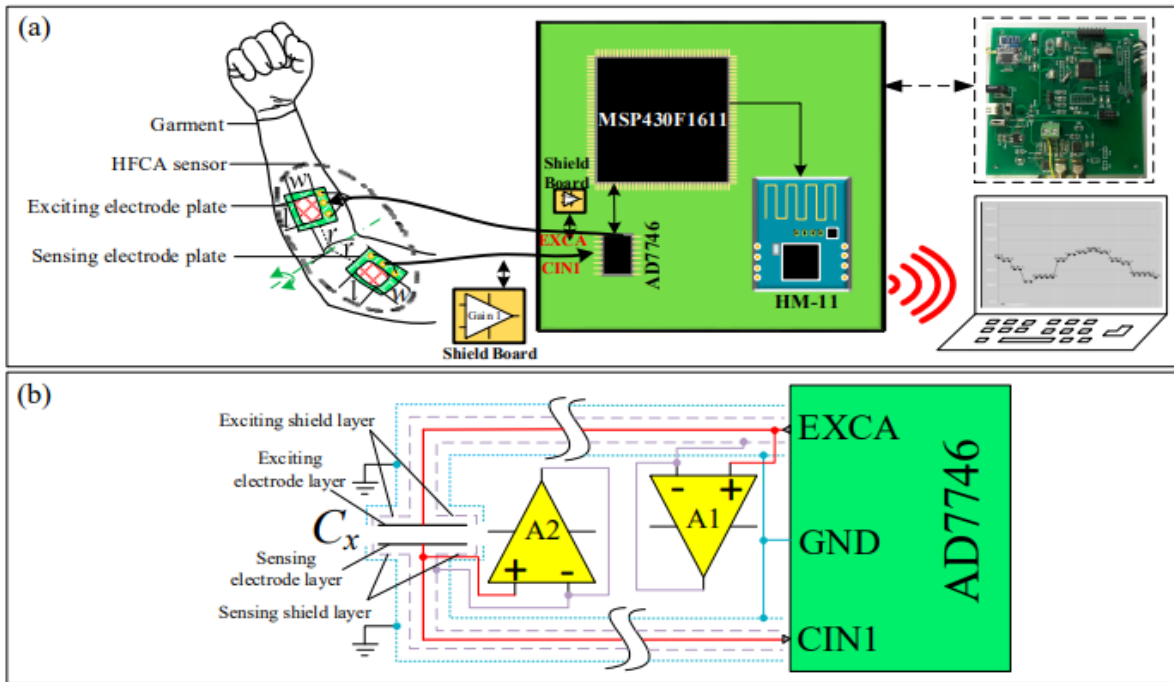


Figura 4. a) Sistema de detección del NFCAS. b) Circuito de detección del NFCAS [4].

Cada placa del sensor se coloca a la misma distancia del punto central. Ese punto central, es el punto del cual se quiere obtener el movimiento que realiza a partir de los ángulos obtenidos. Al ser un sensor capacitivo, se obtiene la capacitancia y se relaciona con los ángulos. A partir de la relación anterior, se obtienen los ángulos para cada movimiento.

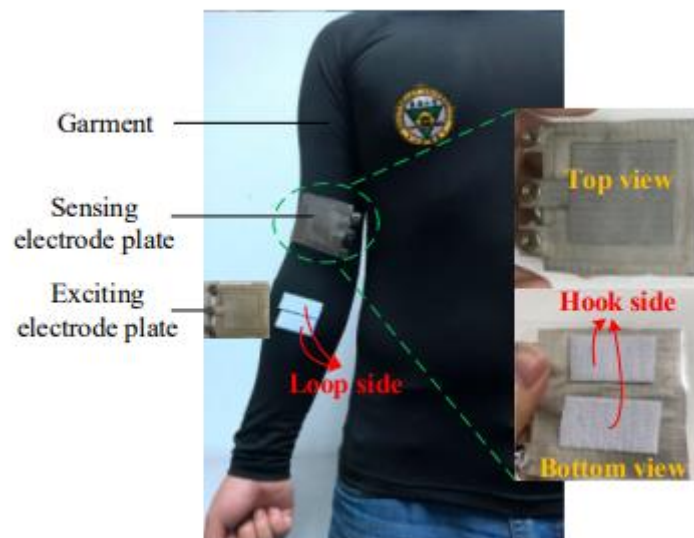


Figura 5. Colocación en el codo del NFCAS [4].

En el artículo [5] se diseñó y realizó un sistema de detección del tipo de pisada a partir de galgas extensométricas incorporadas en la zapatilla. El principal objetivo es detectar el tipo de pisada y para ello se utiliza un sistema basado en 5 galgas extensométricas, situadas justamente debajo de la plantilla de las zapatillas. Las galgas están colocadas encima de semiesferas PDMS para mejorar la sensibilidad. Dichas semiesferas PDMS permiten a las galgas extensométricas tener una superficie de apoyo blanda para deformarse lo suficiente y recuperar su posición inicial cuando cede la presión. Para fijar dichas semiesferas se utiliza cinta de doble cara.

La distribución de las galgas extensométricas está dividida en posiciones específicas para poder determinar el tipo de pisada según la presión obtenida en cada posición.



Figura 6. Distribución de las galgas extensométricas [5].

Las galgas van conectadas a un Arduino Micro, donde el controlador monitoriza las 5 galgas. En la salida hay conectados leds, que se encienden según el tipo de pisada, ya que cada posición está determinada por el color y el número de leds encendidos. Esa función la realiza el controlador, que al detectar que alguna galga supera el valor mínimo de referencia, se encienden los leds correspondientes y determina el tipo de pisada.

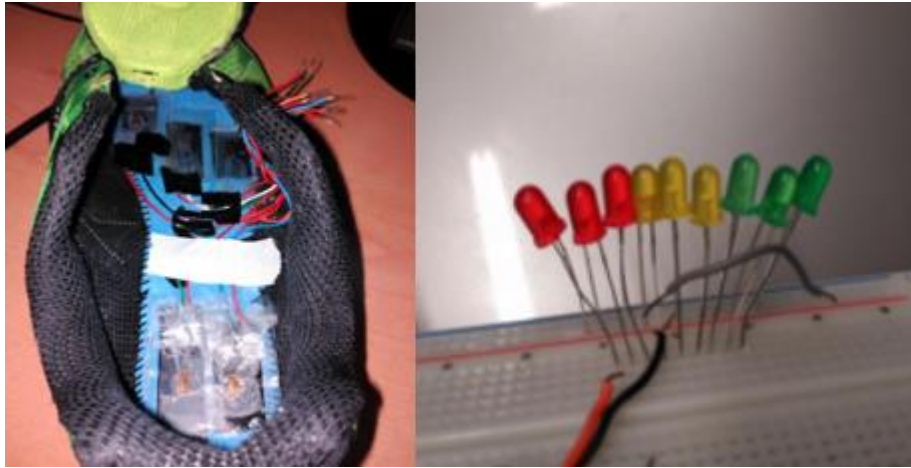


Figura 7. Integración de las galgas extensométricas en la zapatilla y leds indicadores de pisada [5].

En el artículo [6] se diseñó un sistema para poder medir la deformación que se produce en la superficie de una viga de acero en flexión. Para poder realizar la medición se utilizan galgas extensométricas metálicas. El sistema consiste en colocar la galga encima de la viga y a partir del desplazamiento que sufra variará su valor resistivo. Con el valor resistivo y el desplazamiento obtenidos, a partir de la ecuación establecida durante el estudio, se obtiene la deformación que se produce en la viga.

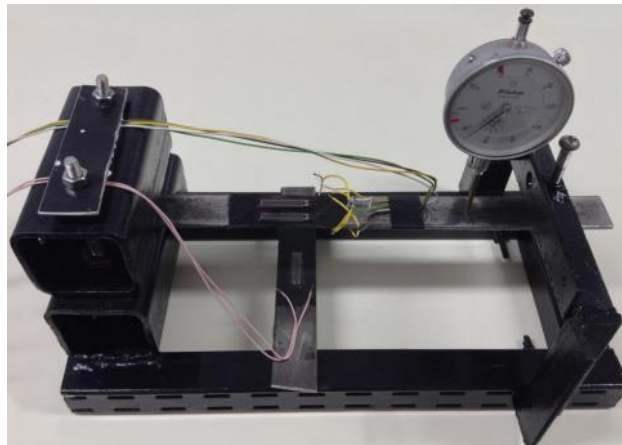


Figura 8. Instalación para estudio de la flexión de una viga con estructura metálica [6].

6 Diseño del sensor textil

Después de realizar el estudio del estado del arte y haber obtenido suficientes datos para el desarrollo de nuestro sensor y su correspondiente aplicación, se ha decidido realizar un sensor textil resistivo. El sensor se incorpora en la rodillera mediante bordado, ya que el laboratorio de electrónica está equipado con una máquina de coser y su correspondiente software para bordar el diseño que se desee.

El diseño del sensor para realizar el estudio depende de las pruebas que se realicen después de integrarlo en la rodillera. Para ello se han diseñado dos sensores, por tal de poder comparar resultados y comportamiento para así decidir el sensor más eficiente para la aplicación necesaria.

Hay que tener en cuenta que cada diseño se incorpora en la rodillera con diferentes tipos de bordado, es decir, cada diseño estará bordado de 2 o 3 formas diferentes y por tanto cada bordado se considera un modelo diferente.

Las pruebas que se van a realizar para decidir el diseño final, se basan en medir el valor de la resistencia del sensor y aumentar la longitud del sensor estirándolo. Dichas pruebas permiten poder ver la variación de resistencia y determinar la sensibilidad respecto a la distancia estirada. Para realizar las medidas, se utiliza un multímetro, del cual la pinza del positivo se coloca en un extremo del sensor y la pinza del negativo en el extremo opuesto.

6.1 Materiales

En referencia a los materiales hay que tener en cuenta que se diferencian en dos partes. Una parte es el sustrato, que es el tejido donde se va a integrar el sensor mediante bordado, en este caso la rodillera. Y la otra parte es el sensor, el cual se va a integrar en la rodillera mediante hilo.

Para el estudio se han utilizado tres rodilleras. La primera se utiliza para la realización de pruebas para comparar la sensibilidad. La segunda para la realización del estudio completo de medidas correspondientes a la longitud y la resistencia. Y la tercera para la realización de las medidas correspondientes al ángulo de inclinación de la rodilla y la resistencia. La primera y la segunda rodillera presentan una composición de Poliéster (80%) y Elastodieno (20%): En cambio, la tercera rodillera presenta una composición de Poliamida (51%), Elastodieno (28%), Poliéster (17%) y Elastano (4%).

Para realizar el bordado se utilizan dos hilos, uno en la parte superior y otro en la inferior (canilla). En el estudio se han utilizado tres tipos de hilo diferentes. En el caso del hilo conductor se ha utilizado siempre el mismo, que es un hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata. En el caso del hilo no conductor, se ha utilizado hilo común de algodón en algunos modelos y en otros modelos hilo elástico.

6.2 Diseños

Como se ha dicho anteriormente, se decide realizar dos diseños. El primer diseño se realiza con una forma de galga extensométrica por sus propiedades, comportamiento y su relación con el objetivo final del estudio. El segundo diseño se ha realizado con una forma de tira, por el hecho de ser una estructura simple y que puede ofrecer una gran sensibilidad.

A partir de los diseños, se lleva a cabo la configuración de los diferentes bordados que se consideran más idóneos para cumplir el objetivo. Se considera al primer diseño como el diseño del primer prototipo y al segundo diseño como el diseño del segundo prototipo. En el caso de los diferentes tipos de bordado, se van a diferenciar por modelos. Por lo tanto, como se van a realizar tres tipos de bordado para cada prototipo, se tendrán 6 modelos diferentes.

6.2.1 Primer prototipo

En la figura [9] se puede ver el diseño del primer prototipo. Como se puede apreciar, presenta un diseño basado en galgas extensométricas, como se ha dicho anteriormente. A partir del prototipo, se desea comprobar si el comportamiento es el correcto para desarrollar el estudio.

El primer prototipo se ha realizado en tres tipos de bordado diferentes. Por lo tanto, se tienen tres sensores textiles resistivos con el mismo diseño, pero con diferente bordado, lo que conlleva a tres modelos (1, 2 y 3).

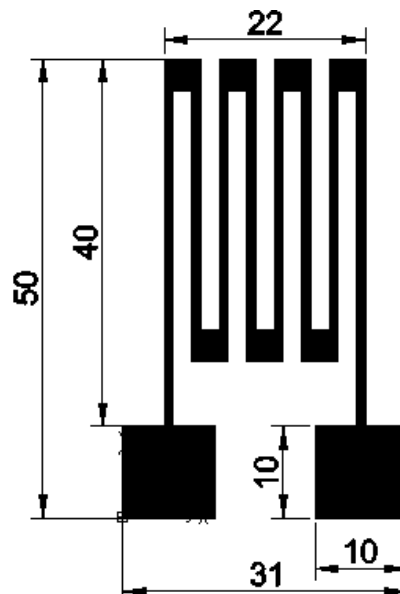


Figura 9: Diseño del primer prototipo.

El bordado en los tres modelos se realiza con dos hilos, en este caso el hilo superior es un hilo común de algodón o hilo elástico y el inferior es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata.

- Modelo 1

El primer modelo se representa en la figura [10], donde se puede apreciar el modelo en el software de bordado y una vez ya está integrado en el tejido. En este modelo se ha realizado un bordado tipo Satín Fill con una densidad de puntada del 20% y sus parámetros restantes ajustados detalladamente para obtener el mejor resultado posible. Para el bordado se ha utilizado hilo elástico en la parte superior y hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata en la parte inferior.

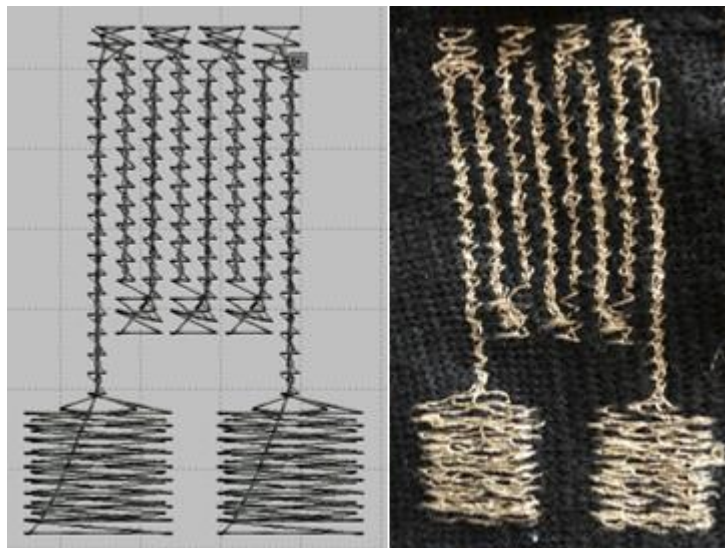


Figura 10. Modelo 1 del primer prototipo en software y bordado.

- Modelo 2

El segundo modelo se representa en la figura [11], donde se puede apreciar el modelo en el software de bordado y el modelo ya integrado en el tejido. Dicho modelo se ha realizado con un bordado tipo Satín Fill con una densidad de puntada del 40% y sus parámetros restantes ajustados detalladamente para obtener el mejor resultado posible. En este modelo el hilo superior es hilo común de algodón y el hilo inferior es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata.

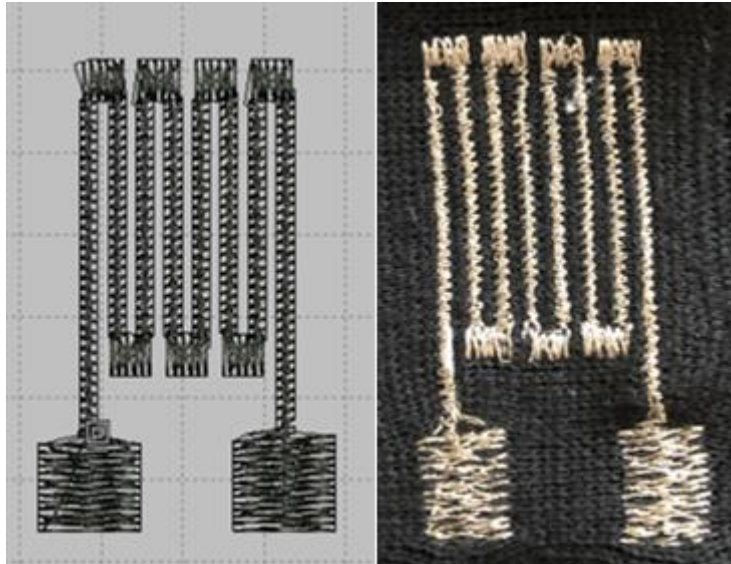


Figura 11. Modelo 2 del primer prototipo en software y bordado.

- Modelo 3

El tercer modelo se representa en la figura [12], donde se puede apreciar el modelo en el software de bordado y el modelo ya integrado en el tejido. El modelo se ha realizado con un bordado tipo Cross y sus parámetros restantes ajustados detalladamente para obtener el mejor resultado posible. En este caso, el hilo superior es hilo común de algodón y el hilo inferior es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata.

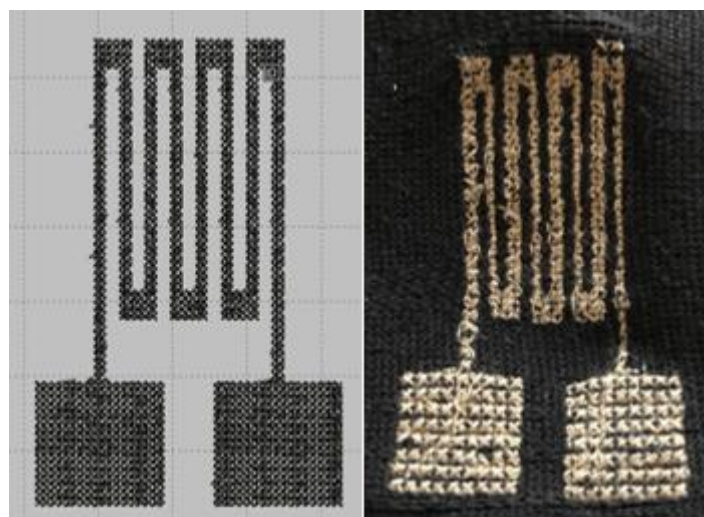


Figura 12. Modelo 3 del primer prototipo en software y bordado.

Una vez bordados los tres prototipos en la rodillera, se procede a realizar las medidas necesarias para poder obtener resultados y estudiar su comportamiento.

Cuando ya se han realizado las medidas oportunas para cada modelo (1, 2 y 3) y se han obtenido resultados, se estudia su comportamiento. Se observa una variación entre la resistencia inicial (sensor en su posición inicial) y la final (sensor estirado hasta el valor de estabilización) de un 4,87%, 1,25% y 0,74% respectivamente.

A partir de estos resultados, se pueden sacar algunas conclusiones. El hecho de que el tipo Satín con menor densidad de puntada presente mejores resultados, tiene sentido porque al tener menos densidad de hilo, provoca que el hilo pueda estirarse con mayor facilidad y presente mayor sensibilidad. También afecta el hecho de que se haya bordado con hilo elástico. En el caso del tipo Cross, se ha visto que este tipo de bordado no facilita el estiramiento, ya que este bordado hace que la tela se separe y no se estire el hilo del sensor.

6.2.2 Segundo prototipo

El segundo prototipo es el de la figura [13], donde se ve el diseño con forma de tira, como se ha comentado anteriormente. Dicho prototipo también se ha realizado en tres tipos de bordado diferentes, como el prototipo anterior. Por lo tanto, se tienen tres modelos (4, 5 y 6).

El objetivo principal es comprobar si el comportamiento de los diferentes modelos es el correcto para desarrollar el estudio y cuál es el más idóneo.

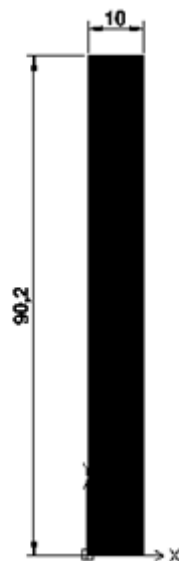


Figura 13. Diseño del segundo prototipo.

El bordado como anteriormente se ha dicho, se realiza con dos hilos. En este caso el hilo superior es el hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata y el hilo inferior es hilo elástico. Aunque hay un caso que es a la inversa, el hilo superior es hilo elástico y el inferior es hilo conductor.

- Modelo 4

El cuarto modelo se representa en la figura [14], donde se puede apreciar el modelo en el software de bordado y el modelo ya integrado en el tejido. Se ha realizado con un bordado tipo Satín Fill con una densidad de puntada del 20% y sus parámetros restantes ajustados detalladamente para obtener el mejor resultado posible. En este caso, el hilo superior es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata y el inferior es hilo elástico.

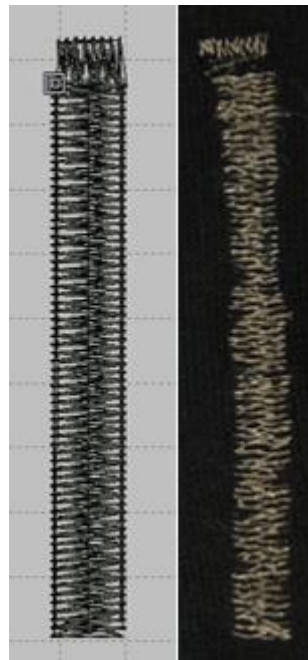


Figura 14. Modelo 4 del segundo prototipo.

- Modelo 5

El quinto modelo se representa en la figura [15], donde se puede apreciar el modelo en el software de bordado y el modelo ya integrado en el tejido.

El quinto modelo se ha realizado con un bordado tipo Weave Fill con sus respectivos parámetros. En este modelo el hilo superior es hilo elástico y el inferior es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata.

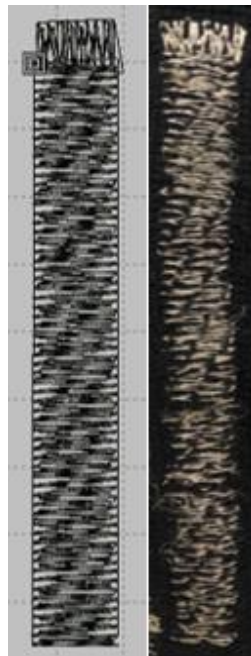


Figura 15. Modelo 5 del segundo prototipo.

- Modelo 6

El sexto modelo se representa en la figura [16], donde se puede apreciar el modelo en el software de bordado y el modelo ya integrado en el tejido. Dicho modelo se ha realizado con un bordado tipo Weave Fill con sus respectivos parámetros. En este modelo el hilo superior es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata y el inferior es hilo elástico.

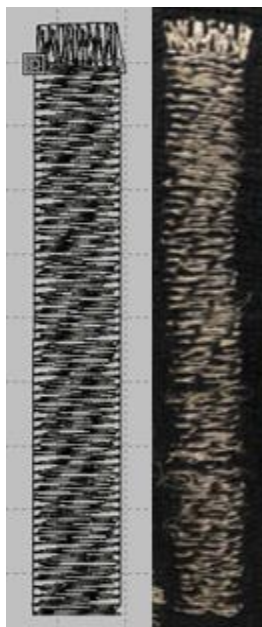


Figura 16. Modelo 6 del segundo prototipo.

Una vez bordados todos los modelos en la rodillera, se realizan las correspondientes medidas para obtener resultados y estudiar su comportamiento.

Ya finalizadas las medidas de cada modelo y obtenidos los resultados, se puede apreciar que la variación en tanto por ciento entre la resistencia inicial y final, ha aumentado considerablemente respecto a los modelos correspondientes al primer prototipo. Los valores obtenidos, indican que la variación de estos prototipos es de un 16,46%, 19,36% y 23,38% respectivamente.

Una vez obtenidos los resultados, se pueden sacar conclusiones. Se puede ver que el Satín Fill mejora considerablemente en comparación al primer prototipo. Aun así el tipo de bordado Weave Fill mejora la sensibilidad del Satín Fill. También se puede apreciar que el simple hecho de cambiar la colocación de los hilos, provoca un cambio de aproximadamente un 4% en la variación de la resistencia. Se presenta una mejor variación cuando el hilo superior es hilo conductor y el inferior es hilo elástico.

6.3 Elección del prototipo

En este apartado se va a decidir el prototipo, concretamente el modelo, que más se ajusta a las necesidades del objetivo inicial. En concreto se necesita un sensor resistivo con una variación de resistencia considerable entre la posición inicial y la final, para así poder desarrollar un mejor estudio del comportamiento y una mejor solución final. Esto nos va a facilitar el realizar un estudio coherente y exhaustivo.

A partir de los valores obtenidos en los diferentes modelos mostrados en los apartados anteriores, hay que decir que la variación del valor resistivo del primer prototipo, concretamente los modelos 1, 2 y 3, en tanto por ciento es muy pequeña.

En cambio, en el segundo prototipo, en los modelos 4, 5 y 6 se puede ver que son valores significativamente superiores a los del primer prototipo. Por tanto, se puede decir que el segundo prototipo presenta unos resultados y un comportamiento más idóneos que el primer prototipo para la realización del estudio.

Dicho esto, solo falta por decidir cuál es el modelo más sensible para obtener una mayor variación de resistencia. Como se ha visto anteriormente, el modelo 6, correspondiente al segundo prototipo, es el que presenta mayor porcentaje de variación.

Realizado un estudio más completo, se puede ver que el prototipo de la galga extensométrica, independientemente del tipo de bordado, no presenta una variación significativa al efectuar un alargamiento del sensor. Pero dependiendo del tipo de bordado se ha comprobado que si puede variar algo más, aunque no llega a ofrecer una diferencia de valores significativa.

Por otra parte, en el segundo prototipo si se puede apreciar una variación significativa al efectuar el estiramiento del sensor. A parte, también se ha experimentado que el tipo de hilo, el tipo de bordado y la colocación de los hilos puede cambiar el comportamiento del sensor. Se puede ver que el cambio del hilo común al elástico ha mejorado la sensibilidad, como también la ha mejorado el hecho de colocar el hilo conductor en la parte superior del bordado y el hilo elástico en la parte inferior.

A partir de los datos obtenidos, se puede afirmar que el modelo 6 es el tipo de bordado que más se ajusta a lo deseado para cumplir el objetivo. Por lo tanto, dicho modelo es el elegido para llevar a cabo el estudio con las medidas correspondientes para obtener los resultados y las respectivas conclusiones.

7 Metodología

La metodología del estudio se basa en cuatro apartados: proceso de diseño, proceso de configuración del bordado, proceso de bordado y proceso de toma de medidas.

7.1 Proceso de diseño

Para llevar a cabo el diseño del prototipo, lo primero es establecer las bases de nuestro diseño. Esas bases son el tamaño, medidas, forma, etc. Principalmente los distintos procesos que se van a explicar son con el prototipo final, es decir, el modelo utilizado en la toma de medidas final para obtener los resultados del estudio.

Para realizar el diseño de los diferentes prototipos se ha utilizado “*Draftsight*”, un programa CAD (diseño asistido por computadora) en 2D. Dicho programa ha sido utilizado en su versión standard, la cual está enfocada para estudiantes, docentes y apasionados del diseño, no para profesionales, cuya versión es la profesional que es de pago.

Una vez abierto el programa, se realiza el diseño del prototipo con la forma, tamaño y medidas deseadas a escala 1:1.

Al finalizar dicho prototipo, se guarda en formato pdf. Para ello hay que clicar en el icono de la esquina superior izquierda y se abrirá una pestaña como se observa en la figura [17]. Después hay que clicar a la opción imprimir, para luego así poder modificar la resolución y la escala a 1:1 para obtener las medidas reales.

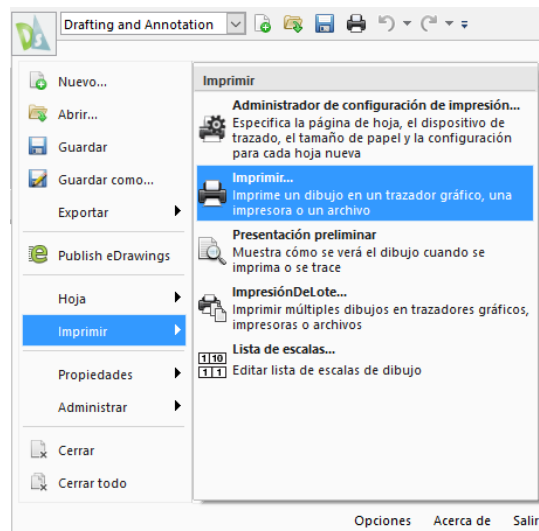


Figura 17. Barra de tareas Draftsight.

Una vez se ha clicado a imprimir, aparece la ventana de la figura[18] con diferentes opciones y una posible visualización preliminar de la impresión. Se realizan los ajustes necesarios, que son la escala y las unidades y se clicca aceptar.

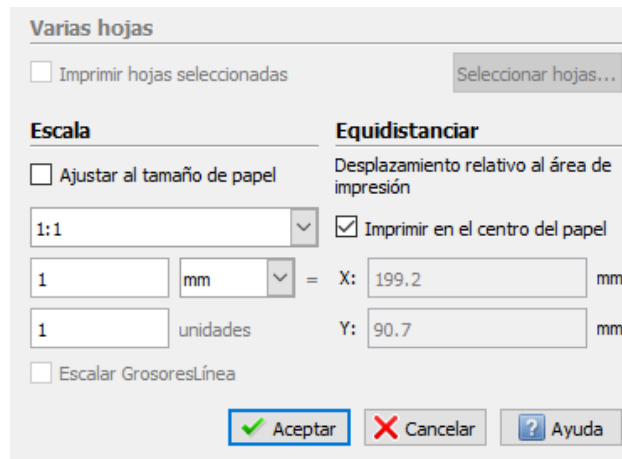


Figura 18. Ventana de Draftsight para guardar en formato pdf.

El motivo de guardar en formato pdf es para obtener el diseño en el formato final necesario, que es formato BMP, a su medida real. Posteriormente se abre el archivo pdf y se ajusta el zoom al 100%, con esto lo que se consigue es tener el diseño a medida real en pantalla.

Teniendo el pdf al zoom especificado, se utiliza la aplicación “Recortes” y se marca con un recuadro el diseño. Una vez marcado, se guarda el archivo en formato JPG.

Como el diseño debe estar en BMP, el siguiente paso es abrir la imagen JPG con el programa “PAINT”. Una vez abierto, directamente se selecciona la opción guardar como y se marca la opción BMP para guardar así nuestro diseño en el formato deseado.

7.2 Proceso de configuración del bordado

Este proceso es esencial para obtener un sensor más o menos eficiente para la aplicación deseada. En nuestro caso, hay que tener en cuenta que se necesita un sensor que ayude a tener una buena elongación para así poder obtener una variación mayor en la longitud y en su valor resistivo.

En este proceso hay diferentes parámetros que afectan directamente al comportamiento del sensor. Dichos parámetros son el tipo de bordado, la densidad del bordado, etc.

Para llevar a cabo este proceso se necesita el software de bordado “Digitizer EX”. Una vez abierto el programa, como se ve en la figura [19], se clicca en la opción de cambiar al modo gráfico para poder abrir la imagen BMP y configurar el bordado.

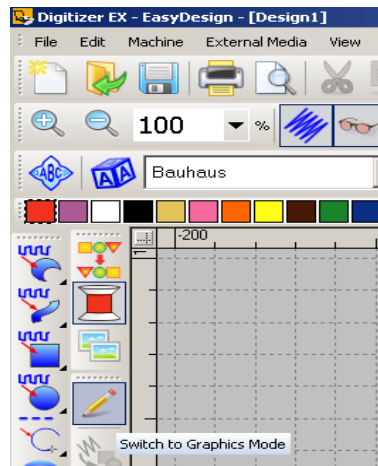


Figura 19. Entrada al modo gráfico.

Ya en el modo gráfico, se importa la imagen BMP obtenida en el proceso de diseño del prototipo. Para ello se clicca en la opción Import, como se especifica en la figura [20].

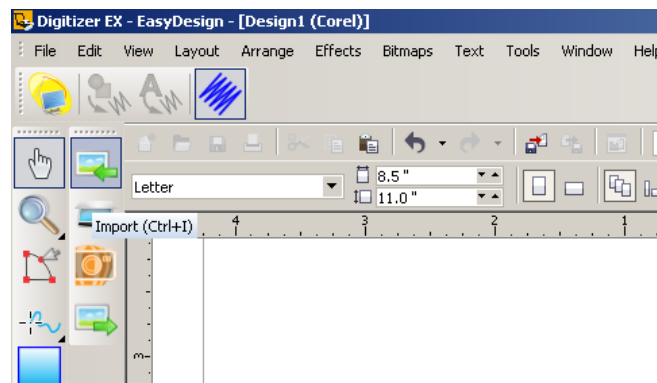


Figura 20. Importar imagen BMP.

Al clicar en Import se busca la imagen BMP en la carpeta que esté guardada y se selecciona. Posteriormente se clicca aceptar y al instante aparece en el programa el diseño del prototipo (figura [21]).

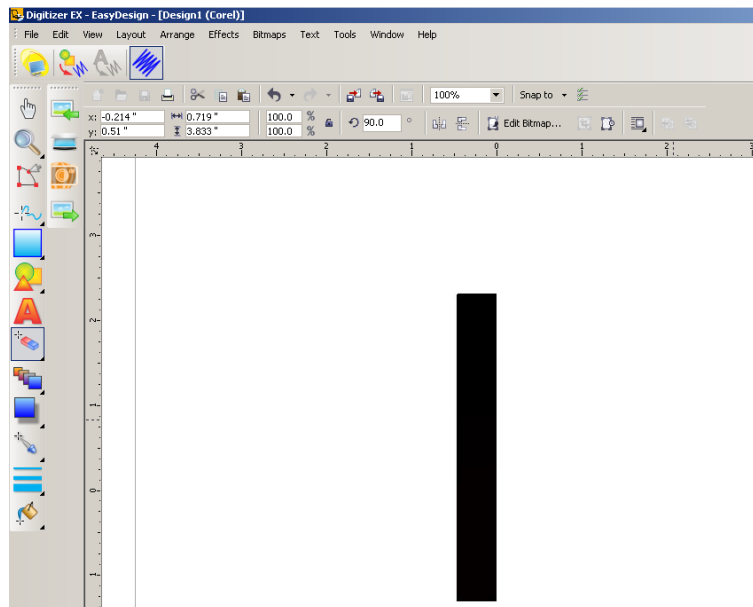


Figura 21. Imagen BMP en Digitizer EX.

Para crear el bordado predeterminado que carga el programa, se selecciona el diseño y como se ve en la figura [22], se clicca a la opción de convertir gráfico a bordado.

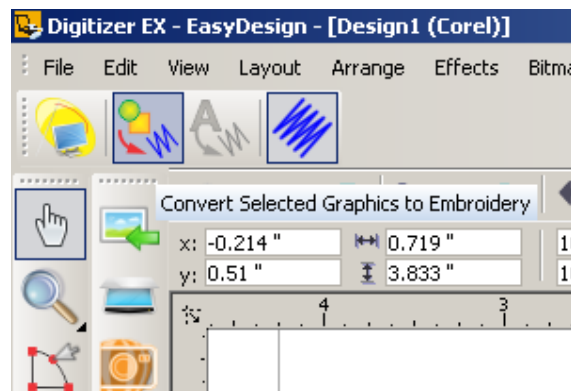


Figura 22. Botón de convertir la imagen BMP a bordado.

Como se aprecia en la figura [23], se ve un cambio en la textura del diseño, donde se puede apreciar el hilo. En este caso, el bordado ya está modificado y no es el predeterminado que carga el programa.

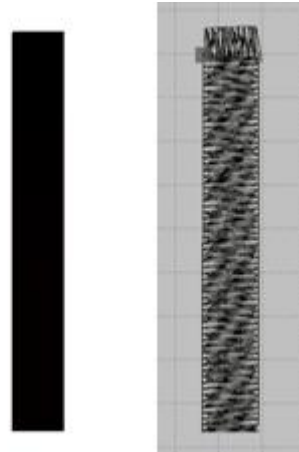


Figura 23. Diseño antes y después de configurar el bordado.

Al tener el diseño con el bordado, se pueden modificar diferentes parámetros. Clicando dos veces sobre el diseño aparecerá una ventana con diferentes pestañas para modificar los parámetros que se desee. En la figura [24] se pueden ver los parámetros del prototipo final, con el cual se ha realizado el estudio para obtener los resultados y sus respectivas conclusiones.

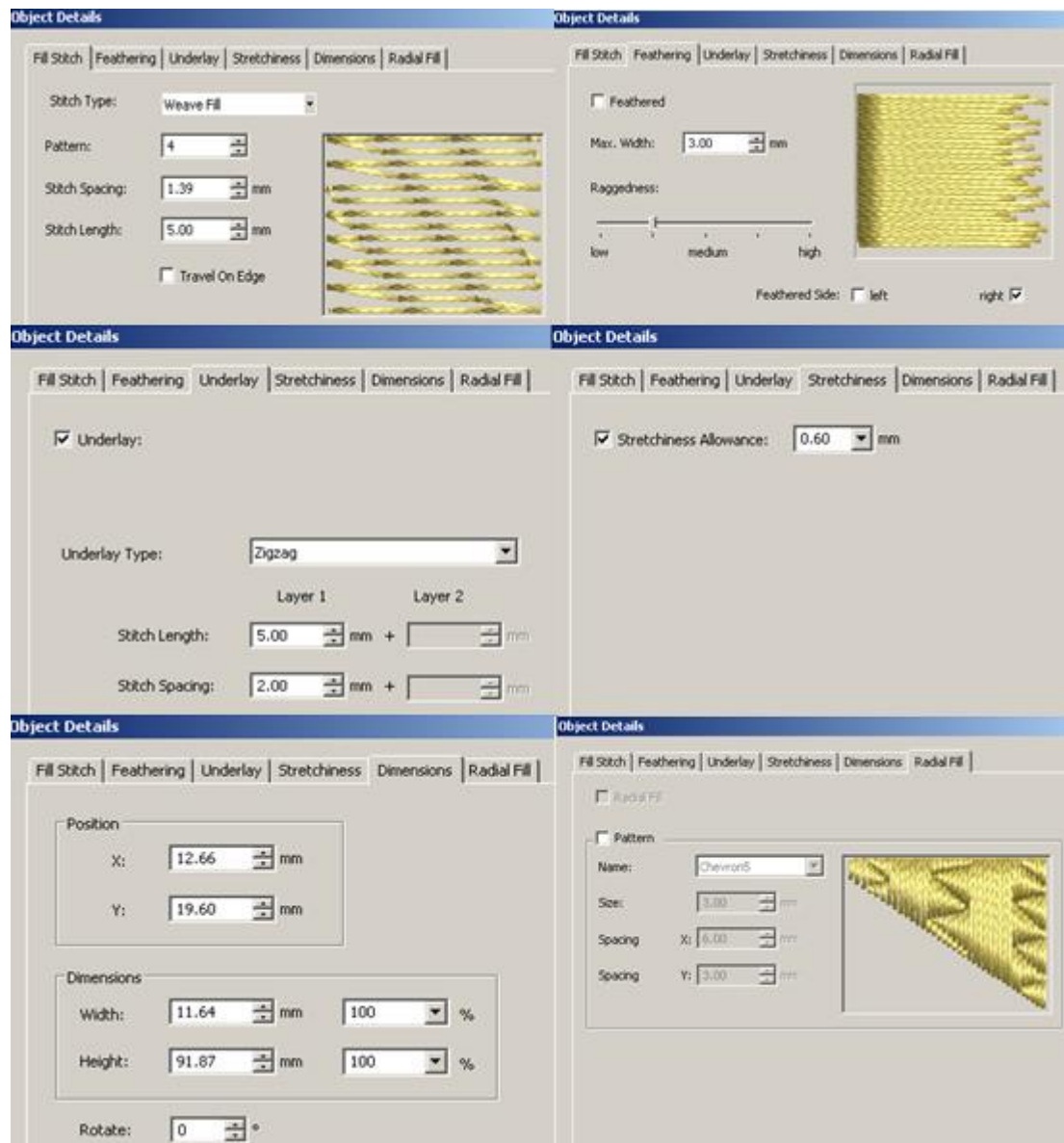


Figura 24. Configuración del modelo utilizado para el estudio.

Una vez están configurados los diferentes parámetros, se clicca a OK y se ve como en la figura [25], donde el bordado ha cambiado.

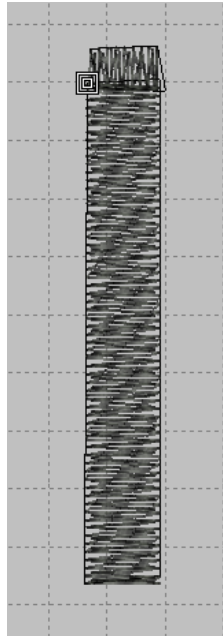


Figura 25. Diseño después de configurar el bordado.

Ahora el diseño está listo para ser bordado, pero hay que guardarlo con sus respectivos parámetros en un archivo nuevo. Para ello, como se especifica en la figura [26], se selecciona guardar como y en la pestaña de tipo se marca el formato Singer [*.xxx], el cual es el formato necesario para el software de la máquina de coser.

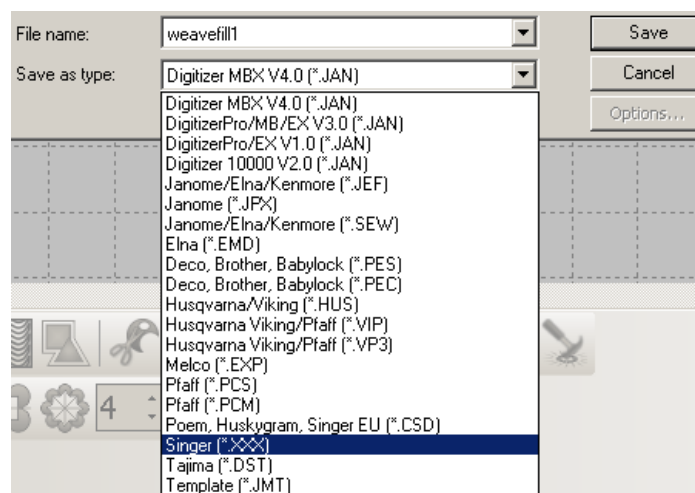


Figura 26. Guardar archivo en formato .XXX.

Con esto se finaliza el proceso de configuración del bordado.

7.3 Proceso de bordado

La técnica elegida para integrar el sensor en la rodillera es el bordado. El bordado se realiza con dos hilos, uno colocado en la parte superior del bordado y otro en la inferior. Para poder realizar la función que se necesita, un hilo debe ser conductor. El hilo utilizado como conductor es hilo conductor de fibra de nylon 6.6 recubierta de plata. Con los hilos se realizan dos multifilamentos con torsión 'Z', los cuales se entrelazan entre ellos con una torsión 'S'.

Esta técnica tiene una gran relación calidad-precio, permite integrar el sensor de forma que no dañe la piel humana y no provoque incomodidad. Hay que tener en cuenta que al ser una rodillera está siempre en contacto con la piel humana, por lo tanto el hecho de no dañarla es muy importante, como también lo es que sea cómoda porque la rodillera puede ser de un uso prolongado en el tiempo.

En este proceso también hay que tener en cuenta diferentes parámetros que pueden afectar al comportamiento del sensor. Estos parámetros están relacionados con la máquina de coser, el sustrato, el soporte y el hilo. Hay que decir que el bordado se realiza con dos hilos diferentes, uno que va por la parte superior y otro por la parte inferior (canilla). El hecho de coser con hilos diferentes, es porque se necesita un hilo conductor para poder obtener medidas mediante el multímetro.

Los parámetros que afectan al comportamiento del sensor en este proceso son la tensión que se aplica al bordado, los hilos utilizados, la tensión del hilo, la tensión del tejido en el soporte y la velocidad de bordado.

Especialmente dos parámetros de los anteriores, afectarán a la calidad del bordado, y por tanto al comportamiento del sensor. Dichos parámetros son la tensión del hilo y la tensión del tejido en el soporte. Que dicha tensión en ambos parámetros sea la correcta se puede apreciar en los hilos del bordado. Esto es debido a que si la tensión es más baja de lo necesario, el bordado puede deshacerse ya que los hilos quedan sueltos. En cambio, si la tensión es más alta, se pueden provocar aperturas en el tejido.

Para realizar el proceso de bordado, se utiliza la máquina de coser Singer Future. Para introducir el diseño en la máquina de coser se utiliza el programa "Futura XL-550".

Lo primero de todo es cortar la rodillera por la parte de atrás y así obtener una tela plana para poder bordar el sensor en la parte frontal. Esto es necesario porque al bordar sin cortarla, se juntarían la parte frontal y trasera, y por lo tanto no se podría introducir la rodillera en la pierna. A continuación se enciende la máquina y después se inicia el programa necesario. Antes de introducir el diseño, como se ve en la figura [27], hay que colocar el tejido en el que queremos bordar dentro de un soporte. El tejido tiene que estar estirado y bien tensionado en el soporte para obtener un buen bordado. Dicho soporte se introduce en la máquina de coser y directamente en el programa aparece el tamaño del soporte dibujado por un recuadro marrón.



Figura 27. Soporte con el tejido colocado en la máquina de coser.

Una vez preparado el tejido en el soporte y colocado en la máquina, se abre en el programa el archivo *.XXX creado en el proceso de configuración del bordado y aparece como en la figura [28].

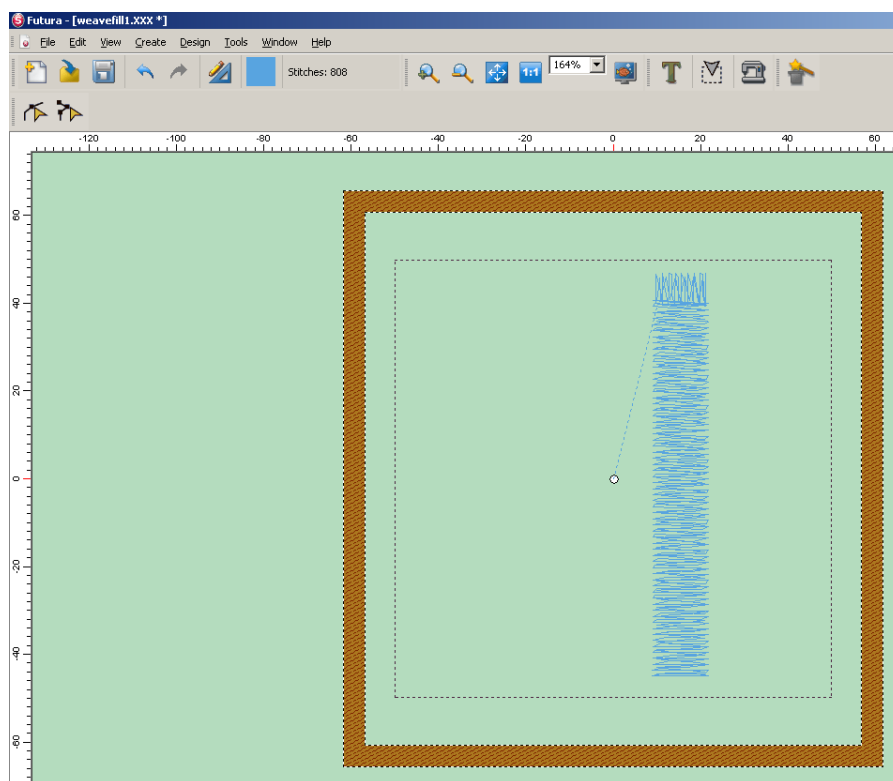


Figura 28. Archivo .XXX abierto en Futura XL-550.

Con el diseño en pantalla, el marco de color marrón indica el tamaño del soporte. El diseño se debe introducir dentro de la línea suspensiva más interior. Por lo tanto, el diseño no debe sobresalir dicha línea para que se realice el bordado correctamente. Con esto cumplido, se clica a la opción de transmitir a la máquina, como indica la figura [29].

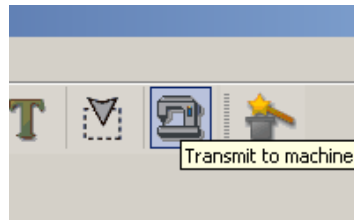


Figura 29. Botón de transmitir a la máquina de coser.

Al seleccionar la opción transmitir a la máquina, aparece la ventana de la figura [30], que permite enviar el diseño a la máquina, para ello se clica el botón Send Design. Al clicar, el diseño se envía a la máquina, la cual ya estará preparada para realizar el bordado.

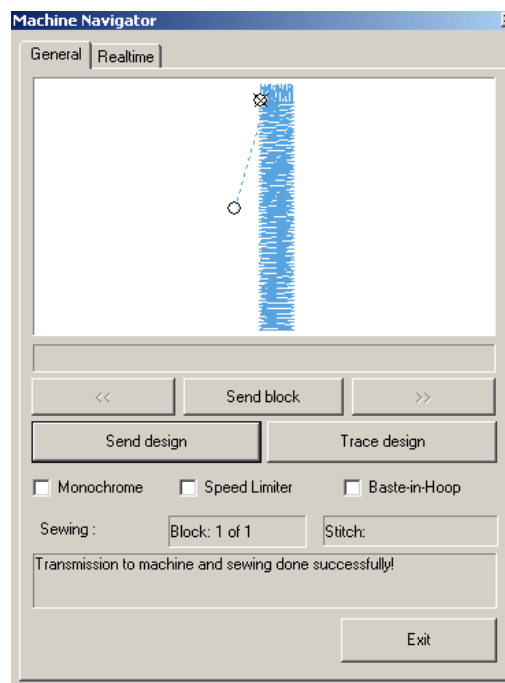


Figura 30. Ventana para enviar diseño a la máquina de coser.

Por último, lo que faltaría para empezar a bordar es pulsar el botón START/STOP de la máquina, que se ha puesto rojo. En el mismo panel donde se encuentra dicho botón, aparece en la figura [31], también está el botón de retroceso de una puntada, el de saltar puntadas y el de cortar el hilo.



Figura 31. Panel físico de la máquina de coser.

7.4 Proceso de toma de medidas

Para el proceso de toma de medidas se emplearán dos métodos, ya que por un lado hay que obtener los valores de resistencia a partir de la longitud del sensor y por otro lado obtener los valores de resistencia a partir del ángulo de inclinación de la rodilla.

En la figura [32] se muestra el método para obtener los valores de resistencia a partir de la longitud. Se puede ver que se utilizan dos mesas separadas por unos 15-20 cm, entre las cuales, concretamente en la esquina, se estira la rodillera y se sujeta en cada mesa con un objeto pesado. En nuestro caso los objetos pesados son una caja de madera y un paquete de hojas blancas. Para evitar el movimiento de la rodillera, se coloca un sargento en cada objeto pesado. Una vez está todo colocado, se procede a realizar las medidas, las cuales se realizan con un multímetro. El método consiste en estirar 0,5 cm el sensor para medir el valor de la resistencia y así repetidamente hasta llegar al punto de estabilización, es decir, al momento en que al estirar 0,5 cm el valor resistivo no cambia o cambia muy poco.



Figura 32. Proceso de medidas de alargamiento.

En el caso del ángulo de inclinación, se incorporan dos broches de presión en la rodillera, concretamente uno en cada extremo del sensor, para poder colocar las pinzas del multímetro y así no estar aguantando todo el rato las pinzas con la mano. Posteriormente se coloca la rodillera en la rodilla. Una vez colocada, se realiza una fotografía a la zona de la rodilla desde una posición lateral a una distancia de 1-2 metros. En la fotografía también aparece el multímetro con el valor de la resistencia. Esto se repite las veces que se desee, modificando la inclinación de la rodilla. Una vez obtenidas las fotografías, se introducen en el PC y se obtiene el ángulo de la rodilla mediante software. Es un software online llamado Ruler, que presenta la interfaz de la figura [33]. Dicho software online se encuentra en la web siguiente: <https://www.ergonautas.upv.es/herramientas/ruler/ruler.php>

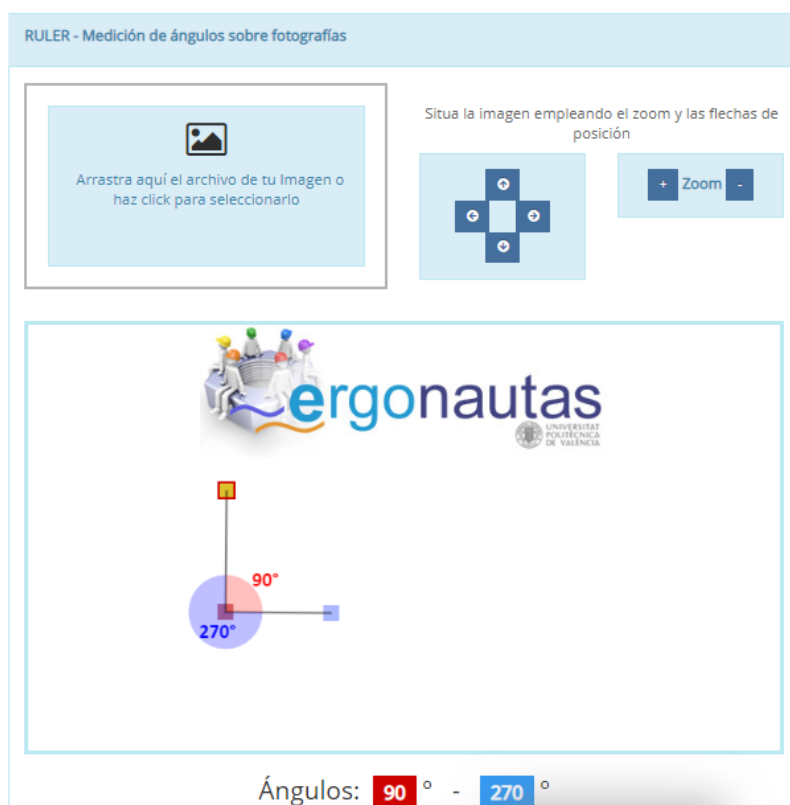


Figura 33. Software online Ruler.

En el software online se puede introducir la foto que se desee y se colocan los cursores donde desees para medir los ángulos. En la figura [34] se puede ver un ejemplo, donde el ángulo de inclinación es de 60° respecto al eje vertical.



Figura 34. Proceso de medidas del ángulo de inclinación de la rodilla.

A partir de las medidas obtenidas, se obtendrá la relación del alargamiento unitario en función de la variación de la resistencia y la relación del ángulo de inclinación en función de la variación de la resistencia. Esto permite conseguir el objetivo del estudio, que es obtener el valor del ángulo de inclinación de la rodilla a partir del valor de la resistencia.

8 Resultados del estudio

Para la obtención de los resultados se utilizó el modelo 6 como se ha explicado anteriormente, pero antes se realizaron medidas de los diferentes modelos del primer prototipo y los del segundo prototipo para obtener el sensor más adecuado. A partir de los modelos (1, 2, 3, 4, 5 y 6) se obtuvieron las medidas del valor de la resistencia inicial (sensor en su posición inicial) y el de la resistencia final (sensor estirado hasta el valor de estabilización), Dichas medidas se muestran en la tabla [1].

Tabla 1. Medidas de los modelos utilizados.

| | R inicial (Ω) | R final (Ω) | Variación de R (%) |
|----------|------------------------|----------------------|--------------------|
| Modelo 1 | 14,59 | 15,3 | 4,86 |
| Modelo 2 | 24,65 | 24,96 | 1,25 |
| Modelo 3 | 26,82 | 27,02 | 0,74 |
| Modelo 4 | 212,24 | 247,18 | 16,46 |
| Modelo 5 | 220,56 | 263,27 | 19,36 |
| Modelo 6 | 248,55 | 306,67 | 23,38 |

Como se observa en la tabla [1] y se ha explicado anteriormente, el modelo 6 es el más adecuado para el desarrollo del estudio.

Una vez demostrado el motivo de la elección del modelo 6, se empezó a realizar el estudio.

Para obtener unos mejores resultados en el estudio, se bordaron tres muestras del modelo en una rodillera nueva, como se puede ver en la figura [35], para así tener más resultados para comparar y comprobar si el comportamiento es repetitivo.

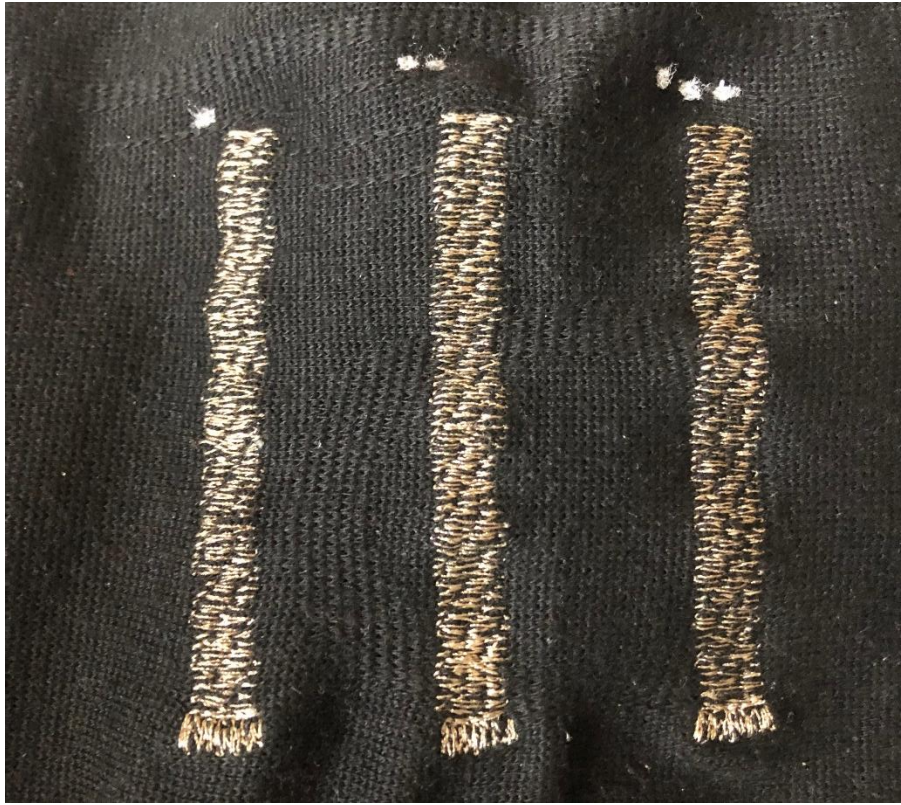


Figura 35. Muestras utilizadas para las medidas.

Las tres muestras se utilizaron para obtener las medidas y resultados de la relación entre la resistencia y el alargamiento unitario.

Después de obtener las medidas y los cálculos de las tres muestras, se realizó el bordado de una cuarta muestra en otra rodillera nueva. En esta muestra el sensor se bordó justo en el centro de la rodillera para poder obtener las medidas más exactas en relación a la inclinación de la rodilla. Dicha muestra es la que se utilizó para obtener las medidas y resultados de la relación entre la resistencia y el grado de inclinación de la rodilla.



Figura 36. Muestra utilizada para las medidas del ángulo de inclinación de la rodilla.

A partir de las medidas y resultados que se obtuvieron a partir de las tres primeras muestras, realizamos las gráficas necesarias para realizar el estudio correspondiente para comprobar si el comportamiento es repetitivo y es el idóneo para nuestra aplicación.

Hay que decir, que después del bordado de cada muestra se ha dejado reposar la muestra un mínimo de 24h para realizar las medidas. Dichas medidas se realizaron dos veces, una antes de realizar el lavado de la rodillera y otra después de realizar el lavado de la misma.

Para realizar las gráficas se ejecutaron ciertos cálculos para poder comparar más fácilmente los comportamientos, es decir, se utilizó la variación de resistencia y el alargamiento unitario en detrimento del valor de la resistencia y del valor final de estiramiento. Esto es debido al hecho de que cada sensor tenía valores muy diferentes de resistencia en su posición inicial. Por lo tanto, se decidió realizar los cálculos correspondientes para así poder obtener resultados coherentes.

Para representar las gráficas de la relación entre la variación de la resistencia y el alargamiento unitario, se realizó el cálculo del valor medio de la ΔR de los tres ciclos obtenidos para así obtener un único parámetro representado en la gráfica. Hay que decir que para saber que variación máxima puede haber entre los diferentes valores obtenidos se introduce la desviación estándar en la gráfica.

8.1 Resultados antes del lavado

Principalmente se van a exponer los resultados obtenidos a partir de las medidas y cálculos realizados de las tres muestras antes de realizar el lavado de la rodillera.

A partir de los valores obtenidos, se realizó la gráfica de la figura [37], donde se representaron los valores medios calculados de ΔR a partir de las tres muestras respecto al alargamiento unitario.

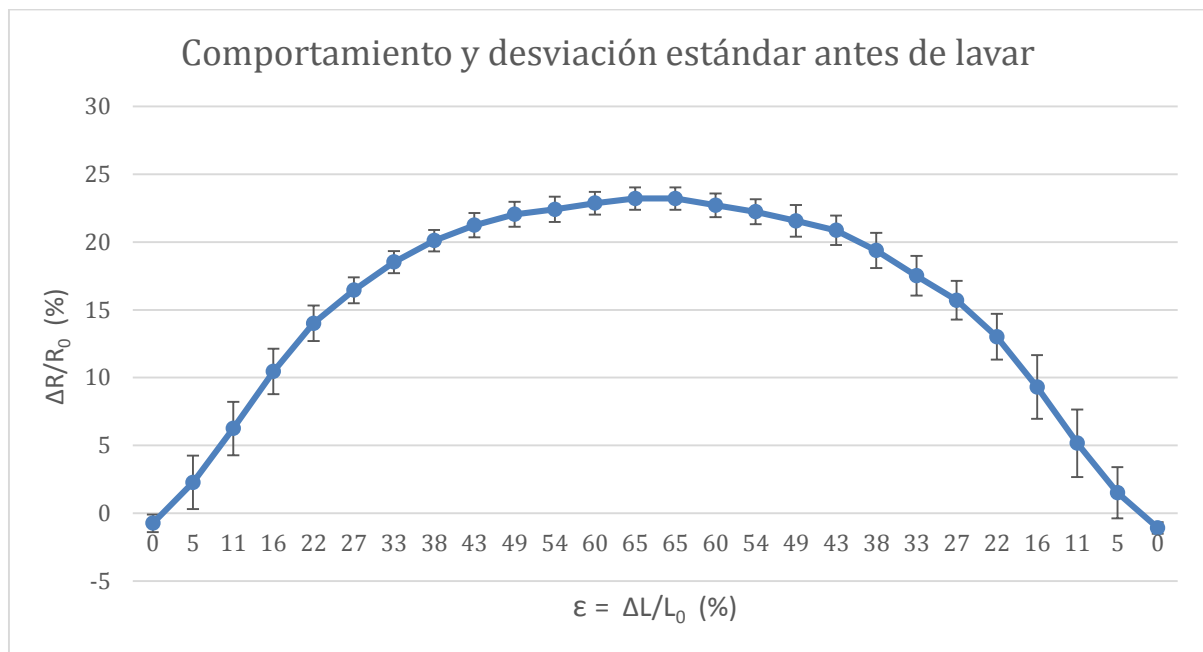


Figura 37. Comportamiento de las tres muestras y su desviación estándar antes de lavar.

En la figura [37] podemos observar que el comportamiento en los diferentes ciclos, ya sea en el de ir aumentando la longitud del sensor o al revés, ir reduciéndola, se obtiene un comportamiento prácticamente igual.

Podemos apreciar que hay un punto donde el comportamiento empieza a presentar una variación menor cada vez que aumenta el alargamiento unitario. Esto es debido a que el sensor tiene un rango de medida y por lo tanto llega un punto donde empieza a estabilizarse en torno un valor.

En el caso de la desviación estándar observamos que presenta valores significativos en la parte inicial y en la parte final. Creemos que esto es debido a que cuando ya se ha estirado una vez el sensor, tarda un tiempo en volver a su valor inicial de resistencia. Nosotros realizamos las medidas de forma continua, sin esperar a que llegase a su valor inicial, por lo tanto los valores obtenidos a partir del primer ciclo se ven un poco distorsionados porque la resistencia inicial era diferente. En cambio en la parte superior se aprecian valores más pequeños de desviación estándar, donde creemos que es debido a que cuando vuelve a

posiciones anteriores que no presentan tanto alargamiento unitario y se produce el ciclo entero, le permite volver a tener valores parecidos.

8.2 Resultados después del lavado

Procedemos a exponer los resultados obtenidos a partir de las medidas y cálculos realizados de las tres muestras después de realizar el lavado de la rodillera.

A partir de los valores obtenidos, se realizó la gráfica de la figura [38], donde se representaron los valores medios calculados de ΔR a partir de las tres muestras respecto al alargamiento unitario.

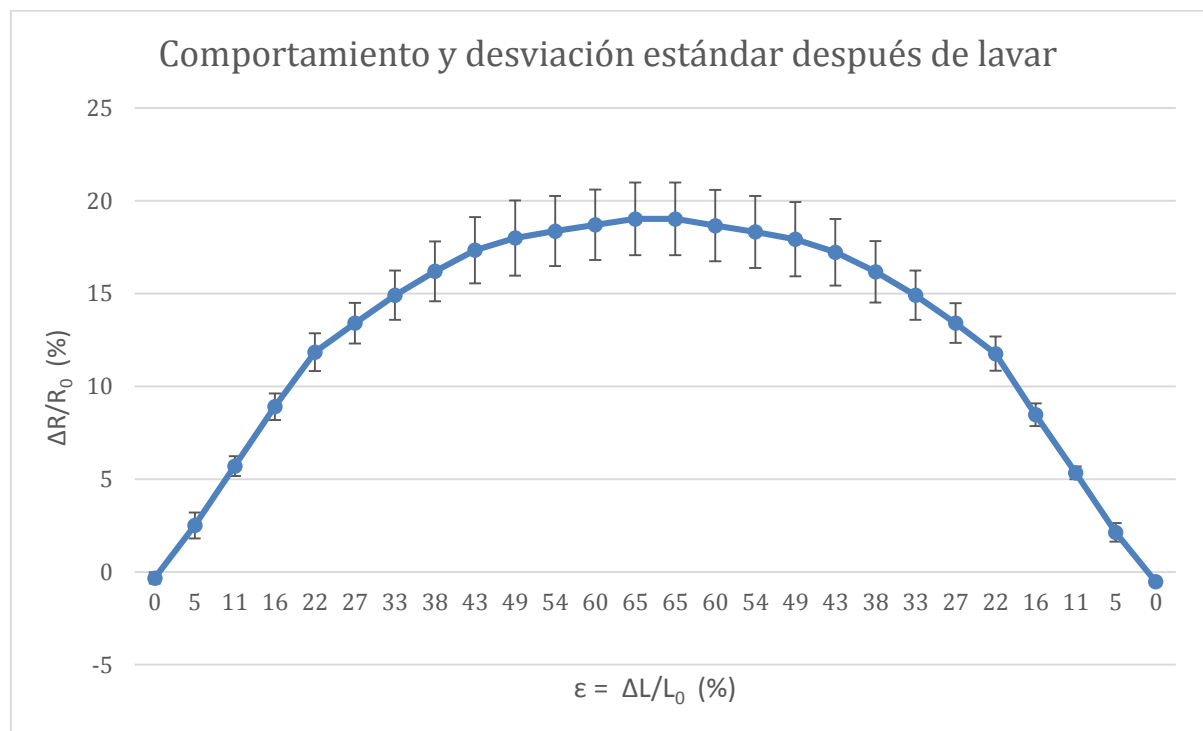


Figura 38. Comportamiento de las tres muestras y su desviación estándar después de lavar.

Como podemos ver en la figura [38], el comportamiento en los diferentes ciclos tanto en la subida como en la bajada del alargamiento unitario es prácticamente el mismo.

Como preveíamos, el comportamiento empieza a estabilizarse cuando llega a un cierto punto, el cual es un punto cercano a 20 y esto quiere decir que el sensor está llegando a su rango de medidas.

Para este caso, la desviación estándar no presentaba valores significativos en la parte inicial ni en la final, pero si en la parte superior de la gráfica. Creemos que esto es debido al lavado, ya que puede ser que la rodillera encogiera y eso provocase que el rango de medidas del sensor disminuya.

8.3 Comparación

Obtenidos los resultados y las gráficas de las tres muestras, se procedió a realizar una comparación entre las gráficas obtenidas antes y después del lavado. Esto nos sirvió para ver si el comportamiento era repetitivo y si el lavado afectaba de la misma forma a las diferentes muestras.

Primero realizamos la gráfica de la figura [39] donde se veía el comportamiento de las tres muestras en los tres ciclos antes y después del lavado.

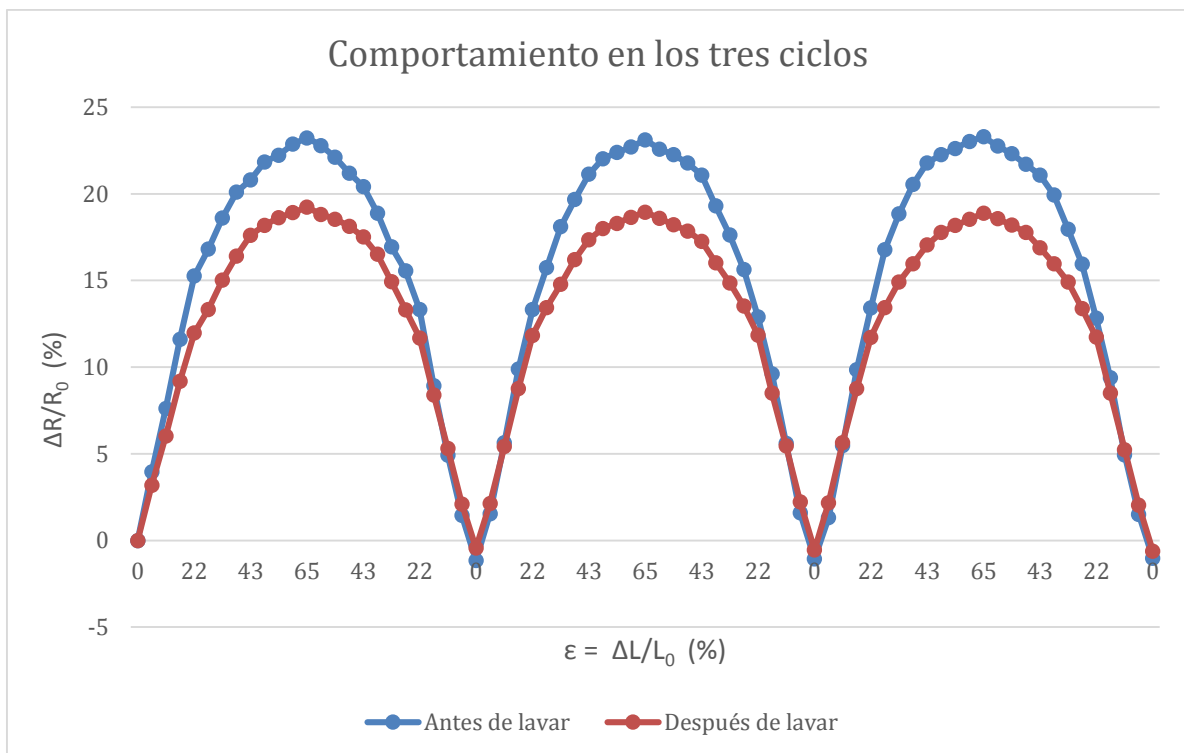


Figura 39. Comportamiento de las tres muestras en los tres ciclos antes y después de lavar.

En la figura [39] observamos que ambos tienen una tendencia ascendente al incrementar el alargamiento unitario y descendente al decrementarlo. Por lo tanto, el comportamiento de ambos es muy similar, pero se diferencia por el hecho de que después del lavado la zona de estabilización reduce su valor. Dicho esto, creemos que la rodillera al sufrir el lavado reduce el rango de medidas del sensor, lo que provoca que el comportamiento se empiece a estabilizar en valores inferiores a los de antes del lavado.

A continuación adjuntamos la gráfica de la figura [40], donde se puede ver el comportamiento de las tres muestras antes del lavado junto con el comportamiento de las mismas después del lavado. Para ello, se realizó la media de los nueve ciclos de subida y de los nueve de bajada. En la gráfica se introduce la desviación estándar para así poder ver las variaciones que se producen entre las diferentes muestras y ciclos.

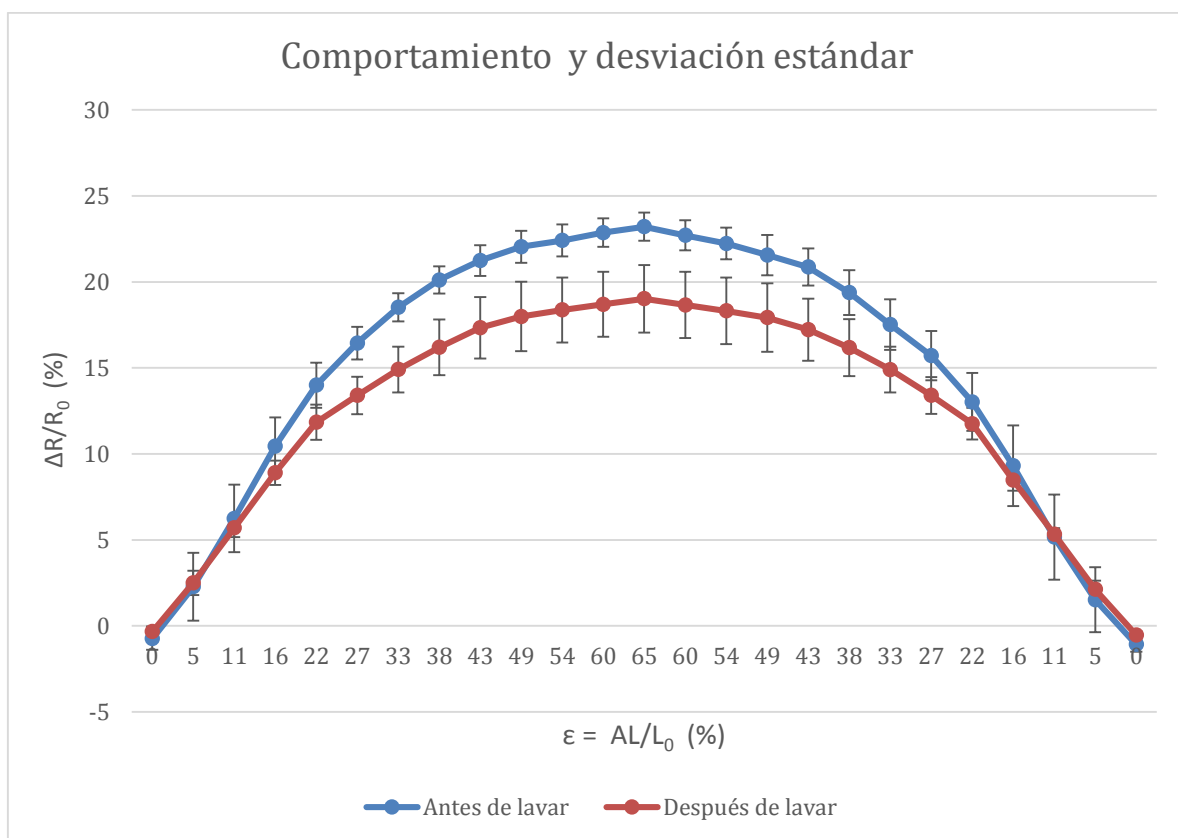


Figura 40. Comparación del comportamiento y de la desviación estándar antes y después de lavar.

En la figura [40] observamos que el valor a partir del cual el comportamiento empieza a estabilizarse se reduce después del lavado. Esto como hemos dicho anteriormente, creemos que es por el hecho de que la rodillera encogiera al realizar el lavado, lo que provoca que el sensor reduzca su rango de medidas.

La gran diferencia entre ambos, es por la desviación estándar, ya que en las muestras antes del lavado presenta valores significativos en la parte inferior de la gráfica, es decir, la parte inicial y la final, y en cambio en las muestras después del lavado presenta valores significativos en la parte superior, donde se empieza a estabilizar.

En el primer caso, antes del lavado, presenta los valores altos en la parte inicial y final, hecho que creemos que puede ser porque una vez el sensor se estira, tarda un tiempo en recuperar ese valor inicial de resistencia. Nosotros tampoco favorecimos a mejorar dichos resultados, ya que tomábamos las medidas de forma continua, sin dejar que se recuperase el valor inicial de resistencia. Este hecho puede ser el motivo de esa desviación estándar, ya que solo se realizaron con el valor inicial correcto las medidas del primer ciclo y las de los siguientes ciclos pueden provocar un poco de variación. En cambio en la parte superior se aprecian valores más pequeños de desviación estándar, los cuales creemos que son porque cuando vuelve a posiciones anteriores que no presentan tanto alargamiento unitario y se produce el ciclo entero, le permite volver a tener valores similares.

En el segundo caso, después del lavado, parece como si se hubiese cambiado completamente la desviación estándar, ya que presenta lo contrario a antes de lavar. Presenta valores significativos en la parte superior de la gráfica, es decir, la parte donde se estabiliza. Creemos que esto es debido al lavado, ya que puede ser que la rodillera encogiera y esto provocase que el rango de medidas de cada sensor cambiase, lógicamente a valores diferentes de ahí la desviación estándar. En cambio en la parte inicial y final se produce una desviación estándar bastante inferior. Creemos que también es debido a que la rodillera encogiera, y esto provoque que la tela esté más junta y no haya tanta variación entre los valores de resistencia inicial en los diferentes ciclos.

Hay que decir que el hecho de tener la mayor desviación en la parte superior, favorece a nuestro estudio, ya que una vez llegue a la parte de estabilización no nos interesará por el hecho de que ya no podrá medir más resistencia y por lo tanto tampoco medir más ángulo de inclinación.

8.4 Relación resistencia con ángulo de inclinación

Para la obtención de los resultados de la relación entre resistencia y ángulo de inclinación de la rodilla se utilizó la cuarta muestra, como se comenta anteriormente.

Para la obtención de los ángulos de inclinación de la rodilla se utilizó como eje principal el vertical, es decir la pierna estirada son 180° y al ir inclinando la rodilla estos grados irán disminuyendo.

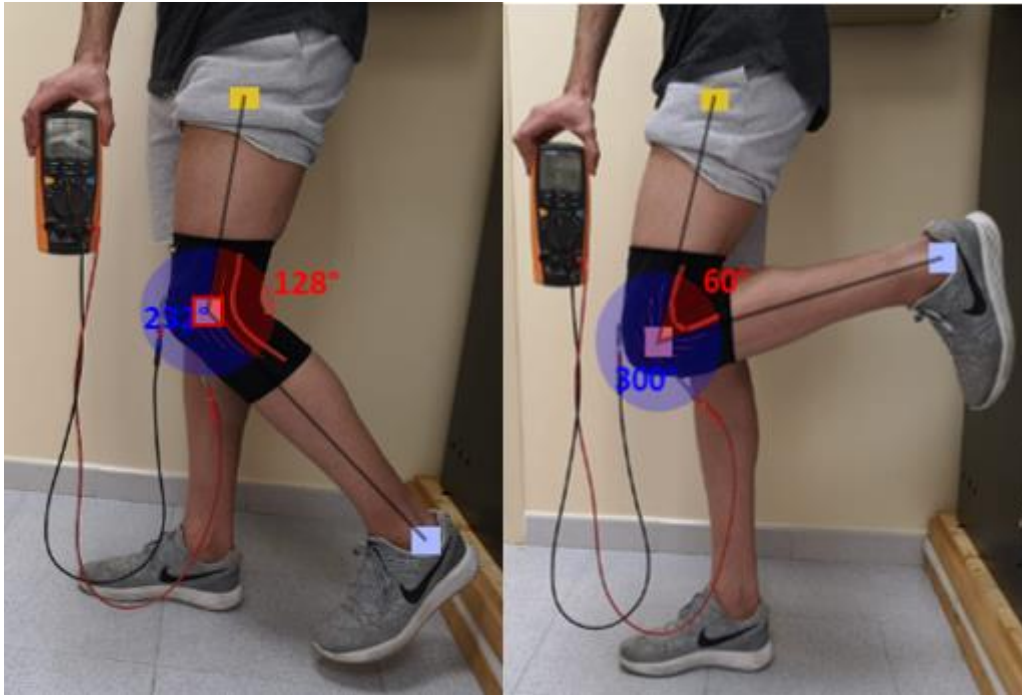


Figura 41. Ejemplos del método de medida del ángulo de inclinación de la rodilla.

En la figura [42] se aprecian dos fotografías con el método de medida aplicado, donde se pueden ver los grados y el valor de la resistencia. A partir de todas las fotografías realizadas se obtuvo una determinada cifra de medidas y se realizaron los cálculos pertinentes.

Una vez obtenidas las medidas y cálculos se realizaron la gráfica de la figura [43] y la gráfica de la figura [44].

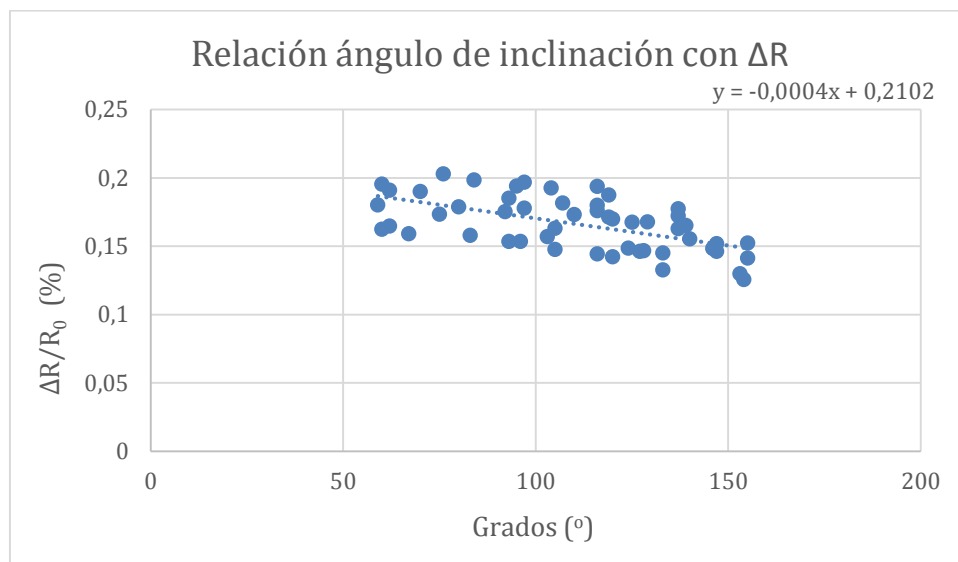


Figura 42. Gráfica de la relación entre ángulo de inclinación y ΔR .

En la figura [43] se realizó la gráfica de la relación entre la variación de la resistencia (ΔR) y el ángulo de inclinación de la rodilla. Observamos que existe cierta dispersión, pero creemos que es debido a que a la hora de realizar las fotos y tener la pierna en equilibrio, puede ser que los valores de la resistencia vayan cambiando al no estar en una posición estable. Aun así creemos que se ha podido obtener una regresión lineal correcta, la cual la obtuvimos a partir de Excel y es la siguiente:

$$y = -0,0004x + 0,2102$$

A partir de la ecuación anterior, podemos obtener valores aproximados del ángulo de inclinación a partir de la ΔR .

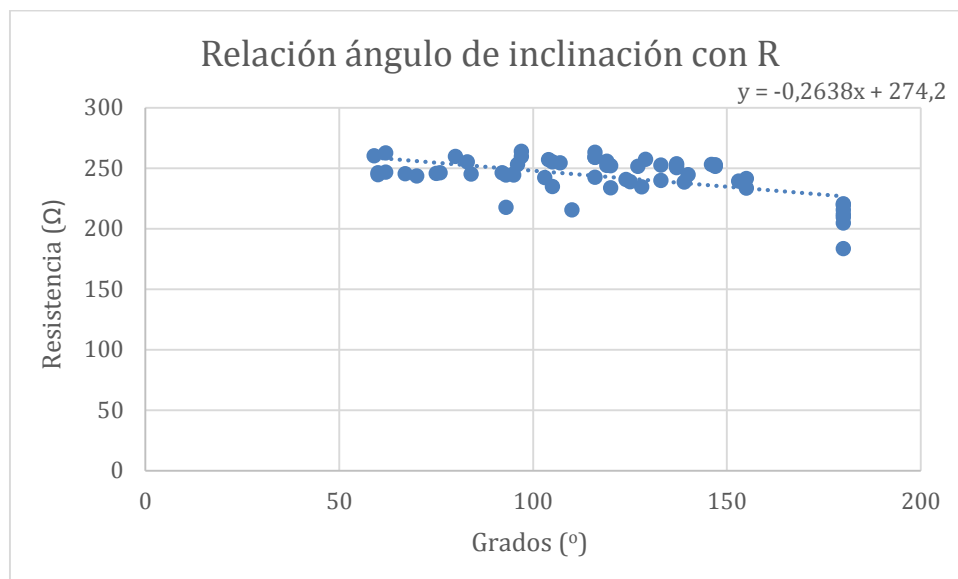


Figura 43. Gráfica de la relación entre ángulo de inclinación y R.

En la figura [44] se realizó la gráfica de la relación entre la resistencia y el ángulo de inclinación de la rodilla. Apreciamos que los puntos presentan una distribución donde más o menos se puede deducir un comportamiento. Este comportamiento se puede obtener a partir de una regresión lineal, para así obtener la ecuación a partir de la cual se podría relacionar el valor de la resistencia con los grados de inclinación de la rodilla.

La ecuación que obtuvimos a partir de la regresión lineal realizada en Excel es:

$$y = -0,2638x + 274,2$$

A partir de esta ecuación se pueden obtener valores aproximados del ángulo de inclinación a partir del valor de la resistencia.

Hay que decir que el sensor llega a un punto donde se estabiliza y por lo tanto a partir de ese punto ya no se puede considerar correcto su comportamiento para obtener nuevos valores de ángulo de inclinación. Observamos que ese punto de estabilización se empieza a producir aproximadamente entre los 80° – 90° .

Por lo tanto el sensor utilizado solo nos permitirá obtener resultados para ángulos superiores a unos 90° aproximadamente, ya que para el cálculo de los ángulos se ha utilizado el eje vertical y se empieza de la posición de 180° y se van reduciendo al inclinar la rodilla.

Como conclusión, podemos decir que el sensor funciona correctamente, pero hasta unos ciertos grados, ya que cuando se estabiliza ya no nos permite obtener valores correctos.

9 Presupuesto

Una vez realizado el estudio se deben de especificar los costes de su realización. Para este caso, el encargado de realizar el estudio es un ingeniero electrónico trabajando a media jornada. Dicho ingeniero tiene una retribución de 22€/h. También se ha contratado a un ingeniero textil, cuya retribución es de 35€/h. El ingeniero textil se contrata para proporcionar los conocimientos necesarios sobre todo lo relacionado con el bordado y el sustrato al ingeniero electrónico.

Tabla 2. Presupuesto de personal.

| Personal | Horas (h) | Salario (€/h) | Coste (€) |
|-----------------------|-----------|---------------|-----------|
| Ingeniero electrónico | 280 | 22 | 6.160 € |
| Ingeniero textil | 35 | 35 | 1.225 € |
| Coste total | | | = 7.385 € |

Las otras partes que hay que tener en cuenta, son el lugar de trabajo, la maquinaria, los materiales y los desplazamientos. En este caso, la maquinaria va incluida en el lugar de trabajo, ya que se debe alquilar un laboratorio con la maquinaria necesaria.

Tabla 3. Presupuesto de material, laboratorio, desplazamientos y maquinaria.

| | Horas o Unidades | Precio (€/h o €/u) | Coste |
|--------------------|------------------|--------------------|-------------|
| Laboratorio | 100 | 80 | 8.000 € |
| Hilo conductor | 1 | 6 | 6 € |
| Hilo de algodón | 1 | 4 | 4 € |
| Hilo elástico | 1 | 5 | 5 |
| Broches de presión | 2 | 0,1 | 0,2 |
| Rodilleras | 3 | 10 | 30 € |
| Desplazamientos | 20 | 4 | 80 € |
| Coste total | | | = 8.125,2 € |

Finalizados los cálculos de los costes, obtenemos un coste final del estudio de 15.510,2 €.

11 Conclusiones

Por último, una vez realizado el estudio de los sensores textiles para el desarrollo de galgas extensométricas, se van a desarrollar las conclusiones obtenidas.

Principalmente el estudio realizado a partir de otros artículos o estudios, ha aportado ciertos conocimientos y una idea de cómo pueden llegar a ser de útiles los sensores textiles. Son sensores de fácil integración y a parte no son molestos para el usuario, es decir, al integrarse en la tela no se notan y por lo tanto presentan una gran comodidad. Se ha podido ver que este tipo de sensores se utilizan para reconocimiento de gestos, movimiento de las articulaciones, detección del tipo de pisada, etc.

En nuestro caso, el estudio está más relacionado con la rama médica, ya que su aplicación es para obtener el ángulo de inclinación de la rodilla en un proceso de rehabilitación. Aunque creemos que también podría ser una buena aplicación para la rama deportiva e incluso para la rama laboral.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio hemos visto que el sensor textil resistivo tiene un comportamiento prácticamente único, ya que en diferentes muestras se ha obtenido el mismo resultado con algunas variaciones como el punto a partir del cual se estabiliza el sensor. Esto creemos que es debido al rango de medidas del sensor, que parece que al realizar el lavado ha afectado a dicho rango disminuyéndolo y por tanto disminuye el valor al cual se estabiliza.

El comportamiento del sensor es el idóneo para nuestro estudio, ya que va aumentando la resistencia en relación al alargamiento unitario, lo cual facilita la relación entre el ángulo de inclinación y la resistencia. Esto es debido al hecho de que si se va inclinando la rodilla, la rodillera y por tanto el sensor, se van estirando cada vez más.

En el caso de la relación entre el ángulo de inclinación y la resistencia, creemos que puede afectar el hecho de llegar a un punto de estabilización porque a partir de ese punto no se podrán obtener más grados de inclinación, pero para el desarrollo de galgas extensométricas esto no afecta. Respecto a lo anterior, se produce al superar la inclinación de los 80° - 90° , lo que provoca que el sensor empieza a estabilizarse y por lo tanto los valores de resistencia no presentarán variaciones considerables. Entonces esto dificulta el hecho de obtener los ángulos de inclinación restantes. En este caso los ángulos de inclinación que no podrían obtenerse serían a partir de los 80° - 90° hasta aproximadamente los 0° , porque hay que recordar que el ángulo de inclinación inicial, con la pierna estirada totalmente es de 180° y por lo tanto al ir inclinando la rodilla dichos grados irán disminuyendo.

A partir del estudio se han podido obtener regresiones lineales a partir de las cuales se permite interpretar los valores de resistencia y convertirlos en grados de inclinación de la rodilla.

Un hecho curioso es que al realizar el lavado se han obtenido valores de desviación estándar completamente diferentes, ya que en las zonas donde había poca desviación antes del lavado pasa a haber un valor significativo y en las zonas que había de forma significativa pasa a haber poca.

Este hecho puede ser beneficioso para nuestro objetivo, ya que después del lavado la mayor desviación estándar se encontraba en la zona donde el sensor se empieza a estabilizar y por lo tanto es la zona donde ya no se podrán realizar más medidas. También hay que decir, que no sabemos cómo se comportará esta desviación al realizar más lavados, pero esto debería especificarse en el apartado de acciones futuras para marcar una línea a seguir en caso de que se quisiese desarrollar más el estudio.

Podemos decir que los sensores textiles pueden servir como aplicación para el desarrollo de galgas extensométricas, ya que el comportamiento es similar, al cambiar el valor de la resistencia al aplicar una fuerza externa, que en nuestro caso es el estiramiento del sensor para cambiar su longitud.

12 Planificación del trabajo futuro propuesto

Una vez finalizado el estudio, hay diferentes cosas que pueden mejorarse y desarrollar con más tiempo y precisión.

Consideramos que se debería de probar de aumentar la longitud del sensor. Esto podría aumentar su rango de medidas, lo que mejoraría el hecho de poder obtener un rango más amplio de ángulos de inclinación de la rodilla.

Otro tema que puede ser interesante desarrollar, es el relacionado con el lavado de la rodillera y como le afecta. Hemos visto que al realizar un lavado la desviación estándar cambia completamente y donde presenta un valor significativo es en la zona de estabilización. Interesaría realizar un cierto número de lavados para poder comprobar si la desviación estándar va cambiando o si solamente cambia al realizar el primer lavado.

El último tema que pensamos que podría desarrollarse, es obtener las medidas del ángulo de inclinación de la rodilla a partir de posiciones dónde la pierna esté completamente quieta, para así evitar oscilaciones en el valor de la resistencia al estar la pierna en equilibrio y moviéndose levemente. Esto permitiría obtener mejores resultados y evitar la dispersión obtenida en el estudio realizado.

13 Referencias bibliográficas

- [1] Preetham, C., Ramakrishnan, G., Kumar, S., Tamse, A., & Krishnapura, N. (2013). Hand talk-implementation of a gesture recognizing glove. In *Proceedings - 2013 Texas Instruments India Educators' Conference, TIIEC 2013* (pp. 328–331). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/TIIEC.2013.65>
- [2] Shyr, T. W., Shie, J. W., Jiang, C. H., & Li, J. J. (2014). A textile-based wearable sensing device designed for monitoring the flexion angle of elbow and knee movements. *Sensors (Switzerland)*, 14(3), 4050–4059. <https://doi.org/10.3390/s140304050>
- [3] Lin, X., & Seet, B.-C. (2015). A Linear Wide-Range Textile Pressure Sensor Integrally Embedded in Regular Fabric. *IEEE Sensors Journal*, 15(10), 5384–5385. <https://doi.org/10.1109/jsen.2015.2453214>
- [4] Wu, J.-F., Qiu, C., Wang, Y., Zhao, R., Cai, Z.-P., Zhao, X.-G., ... Li, J.-Q. (2018). Human Limb Motion Detection with Novel Flexible Capacitive Angle Sensor Based on Conductive Textile. *Electronics*, 7(9), 192. <https://doi.org/10.3390/electronics7090192>
- [5] Javier, F., Somet, P., José, J., Fuentes, M., & Perdigones Sánchez, F. (2013). *Detección de pisada usando galgas extensométricas*. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12328/fichero/Detección+de+pisada+usando+galgas+extensométricas.pdf>
- [6] Rodriguez, G., Hernández González, A., Llanusa, A. L., & Ramírez-Beltrán, J. (2016). *Sistema para la Medición de Deformación usando Galgas Extensiométricas Metálicas Modelación lluvia-escurrimiento View project*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/308021619>